

Министерство образования и науки Украины  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный  
университет

Кафедра технической эксплуатации и сервиса автомобилей

Конспект лекций по учебной дисциплине:  
«Техническая эксплуатация автомобилей с микропроцес-  
сорными системами управления (МСУ)»  
(направление подготовки 6.070106 «Автомобильный транспорт»)

Составил: доц. Горбик Ю.В.

Курс лекций:

«Техническая эксплуатация автомобилей с микропроцессорными системами управления (МСУ)»

Составил: доц. кафедры ТЭСА ХНАДУ Горбик Ю.В.

Рекомендованная литература

1. Техническая эксплуатация автомобилей. Говорущенко Н.Я. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1984. -312 с.

2. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн. / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. - М.: Наука, 2001. 535с.

3. Bosch. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. — М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. — 480 с: ил.

4. Bosch. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с немецкого.. — М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2005. — 432 с: ил.

5. Автомобильный справочник Bosh // Справочное издание фирмы Bosh, первое издание.-М.: Издательство “За рулем”, 1999.-587 с.

6. Данов Б.А., Титов В.И. Электронное оборудование иностранных автомобилей: системы управления двигателями.-М.: Транспорт, 1998.-76с.

7. Данов Б.А., Титов В.И. Электронное оборудование иностранных автомобилей: системы управления трансмиссией, подвеской и тормозной системой.-М.: Транспорт, 1998.- 78с.

8. Данов Б.А., Титов В.И. Электронное оборудование иностранных автомобилей: системы управления оборудования салона.-М.: Транспорт, 1998.- 60с.

## **Лекция 1 Стратегии технической эксплуатации автомобилей**

**1 Автомобиль как объект технической эксплуатации.** Способы осуществления связей между агрегатами и системами автомобиля.

Эффективность работы автомобильного транспорта и ее основные показатели (**производительность, себестоимость, безопасность движения**) в значительной степени зависят от уровня организации работ по поддержанию подвижного состава в технически исправном состоянии.

Профилактическое обслуживание и ремонт подвижного состава самым тесным образом связаны с транспортным процессом, безопасностью движения, расходом топлива и выбросом вредных веществ в атмосферу. Чем более интенсивно работают автомобили и выше их выработка в тоннах и тоннокилометрах, тем сильнее изнашиваются агрегаты автомобиля, увеличивается расход топлива и выброс вредных токсичных веществ.

Существуют тесные корреляционные связи между пробегом автомобиля до капремонта, выполненной транспортной работой и расходом топлива, так как эти параметры в основном зависят от развиваемой двигателем мощности (среднего эффективного давления). Получение таких аналитических зависимостей имеет важное практическое значение. Например, длительные экспериментальные исследования на износ в стабильных условиях работы практически невозможны. Значительно легче это определить косвенно по расходу топлива.

Схематично взаимосвязь отдельных подсистем с условиями работы представлена на рис. 1. Все три подсистемы весьма энергоемки (трудоемки), хотя и неравнозначны по затратам. Комплексное рассмотрение деятельности отдельных подсистем и применение единой классификации условий работы подвижного состава позволяет на более высоком системном уровне анализировать их производственную деятельность.

На рисунке схематично показаны прямые и обратные связи отдельных подсистем. Например, техническое состояние автомобиля зависит от интенсивности транспортного процесса, но последний, в свою очередь, сильно зависит от коэффициента технической готовности парка. Линейный расход топлива в л/100 км с интенсификацией транспортного процесса (увеличение грузоподъемности, коэффициентов использования пробега и грузоподъемности) возрастает, но в то же время удельный расход топлива в г/т км значительно снижается. Улучшая организацию технического обслуживания и ремонта, добиваемся экономии топлива, снижения токсичности и повышения безопасности движения.

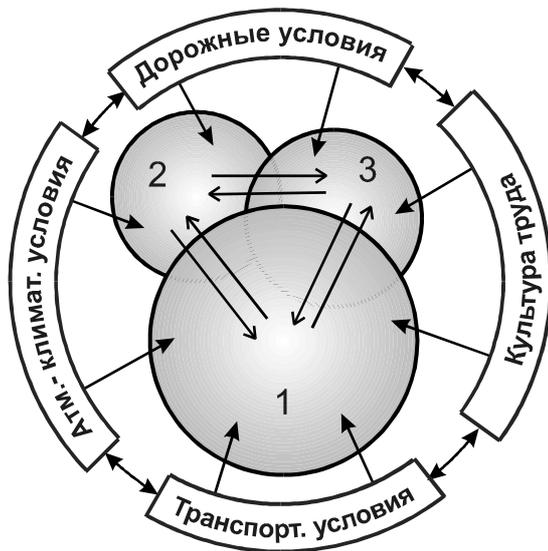


Рис. 1. Схема взаимодействия основных подсистем автомобильного транспорта: 1- транспортный процесс и безопасность движения, 2 - подсистема расхода топлива и токсичности автомобиля, 3 - подсистема ПО и ремонта.

### **1.1 Показатели эффективности функционирования автомобилей**

Наиболее важными показателями автомобилей являются **надежность, эффективность функционирования и токсичность ОГ.**

**Надежность** автомобилей закладывается на стадии проектирования, обеспечивается в производстве и поддерживается в эксплуатации системой технического обслуживания и ремонта (**ТОР**). Поэтому важным этапом в формировании ТОР является оценка и **выбор стратегии эксплуатации.** В настоящее время различают следующие стратегии эксплуатации автомобилей:

- по безотказности работы;
- по экономической эффективности;
- по фактическому состоянию;
- по объему выполненной работы;
- авторизированная стратегия эксплуатации автомобилей.

Чаще всего доминирует одна из стратегий, а остальные дополняют ее. По выбранной доминирующей стратегии формируют систему технического обслуживания и ремонта.

Например, стремление предупредить отказы обусловило разработку плано-предупредительной системы обслуживания и ремонта автомобилей. При этом доминирующую роль играет стратегия по безотказности работы, дополненная стратегией по объему выполненной работы, выраженной в тысячах километров пробега. Создание такой системы основано на опыте и практике эксплуатации автомобилей определенного класса и назначения. Интервалы между обслуживанием и ремонтом, объем и содержание работ формируются на основе статистических данных. При этом не учитываются особенности конкретной конструкции, а рассматриваются оп-

ределенный тип, модификация автомобилей и т.д. Основанная на таком подходе (методе статистического диагностирования) система обслуживания и ремонта имеет недостатки:

- ремонтно-регулирующим работам подвергается автомобиль, находящийся в удовлетворительном состоянии и не нуждающийся в таких работах;

- наступивший в период эксплуатации скрытый отказ устраняется только во время регламентных работ.

При такой системе обслуживания имеется субъективный подход к оценке интервала эксплуатации между обслуживанием и ремонтом автомобилей, объема и содержания работ. В результате в ряде случаев могут быть приняты меры, не способствующие улучшению технического состояния узла, агрегата, системы и автомобиля в целом.

По сравнению с планово-предупредительной системой более прогрессивной является система обслуживания и ремонта по фактическому состоянию объекта, получившая название адаптивной системы.

При этом доминирующую роль играет стратегия по фактическому состоянию, дополняемая стратегиями по объему выполненной автомобилем работы, экономической эффективности и безотказности работы.

Для её внедрения необходимо обеспечить непрерывное наблюдение и учет (мониторинг) загрузки и технического состояния автомобилей в эксплуатации.

Современное развитие микропроцессорных систем управления (МПСУ) и опыт их применения на транспорте создает предпосылки использования таких технических средств для решения следующих задач:

- ***учет условий работы транспортных машин,***
- ***учёт и контроль расхода топлива,***
- ***определение технического состояния и прогнозирование ресурса автомобилей,***
- ***оценка комплексного критерия топливной экономичности и токсичности выбросов ОГ.***

Известно, что современные МПСУ имеют встроенные программные модули, в которых осуществляется самодиагностика систем. Технология строится на измерении величин сигналов датчиков, характеризующих диагностические параметры в контрольных точках, и сравнении измеренных величин с пороговыми значениями. При отклонении какого-либо параметра от порогового значения в специально отведенную область памяти записывается код ошибки. Сами данные в МПСУ не сохраняются. На комбинации приборов зажигается сигнальная лампа, сообщающая о необходимости диагностирования, например, двигателя.

Следовательно, данные, которыми оперирует система управления двигателем, можно использовать затем в операциях мониторинга. Поэтому на автомобили, оснащенные МПСУ, достаточно установить бортовые системы мониторинга (БСМ), по принципу действия похожие на маршрутные компьютеры.

Используя информацию, получаемую от МПСУ двигателем, после её предварительной обработки, БСМ должна сохранять в своей памяти данные о режимах работы, степени загрузки, средней скорости движения, пройденном пути и затраченном времени, расходе топлива.

Кроме того, необходимо накапливать информацию о суммарном расходе, о суммарном пройденном пути, о суммарном времени работы двигателя на одноимённых фиксированных режимах, а также общее количество израсходованного топлива и общее время работы двигателя.

Вся схема информационного обмена может строиться по иерархическому принципу. Нижний иерархический уровень образуют МПСУ и бортовые системы мониторинга, устанавливаемые на каждой машине. На следующем иерархическом уровне расположено устройство сбора информации, например, Flash-карта, электронный диск, ноутбук и др. Его задачей является сбор информации с БСМ каждой машины и передача на верхний уровень. На верхнем иерархическом уровне расположен комплекс программных и технических средств (КПТС), обеспечивающий обработку информации и формирование базы данных.

В зависимости от структуры и состава технической системы состав КПТС также может изменяться. Например, в небольшом хозяйстве это может быть ноутбук или стационарный компьютер, а в крупном хозяйстве, имеющем собственную службу технического обслуживания и ремонта (ТОР), средства диагностирования (СД), верхний иерархический уровень может представлять локальную компьютерную сеть, в которую включены КПТС, СД, ТОР.

Перечисленные задачи должны однозначно решаться как для каждой отдельно взятой машины, не зависимо от марки и модели, так и для транспортного подразделения, предприятия или транспортной системы, имеющей большое количество одинаковых и разных объектов.

Предложенный подход ориентирован на применение информационных технологий на всех этапах функционирования рассматриваемой технической системы. Его использование позволяет создавать сбалансированные по составу технических средств, информационному и методическому обеспечению системы для решения многих задач эксплуатации автомобилей.

## **2 Техническая система «Водитель - автомобиль - дорога»**

### Система ВАД.

Рассмотрим с точки зрения ТЭ, как ведет себя система **ВАДС**, а именно эффективность функционирования системы ВАДС и факторы, влияющие на эти показатели.

Вспомним формулу мощности.

Тяговая мощность затрачивается  $N_T = N_f + N_W + N_\alpha + N_j$ ,

где  $N_f$  - мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивле-

нию качению;

$N_W$  - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха;

$N_\alpha$  - мощность, затрачиваемая на преодоление уклона;

$N_j$  - мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления инерции.

$$N_T = N_e \cdot \eta_T;$$

$$N_T = \frac{H_H}{3600} \cdot G_{\text{час}} \cdot \eta_e,$$

где  $H_H$  – низшая теплота сгорания, кДж;

$G_{\text{час}}$  – часовой расход топлива, л/час;

$\eta_e$  – эффективный КПД ДВС.

88% топлива теряется в ДВС и только 12% на движение автомобиля.  
Как эти потери уменьшить?

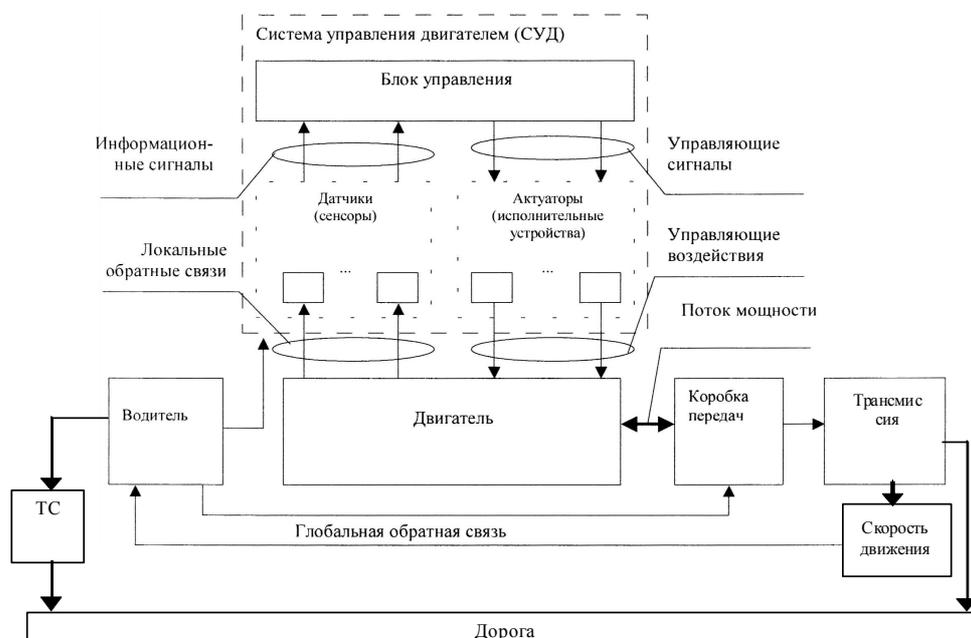


Рис. 1 Техническая система водитель-автомобиль-дорога

### 3 Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на показатели функционирования автомобилей

Эффективность функционирования автомобилей оценивается следующими показателями:

- производительностью;
- себестоимостью выполненной работы;
- безопасностью движения.

## **Лекция 2 Классификация систем управления автомобилем**

### **1 Принципы работы систем управления автомобиля**

Все электронные системы управления автомобиля имеют общий принцип работы, будь то электронная система управления двигателем или электронная система управления АКПП. Хотя это и совсем различные узлы автомобиля, выполняющие различные функции, принципиальное устройство и принцип работы их электронных систем управления идентичен. Электронная система управления состоит из набора датчиков, ЭБУ и комплекта исполнительных элементов. Датчики системы считывают необходимую информацию и передают в электронный блок управления (электронный мозг). Аналоговая информация, поступающая от датчиков, переводится в цифровую форму с помощью встроенного аналого-цифрового преобразователя. Электронный блок управления выполнен полностью цифровым на основе микропроцессора. Полученные данные обрабатываются с помощью алгоритма, заложенного в микропроцессор, который определяет перечень необходимых действий. Подавая сигнал на исполнительные элементы.

Все электронные блоки **по функциональному назначению** могут быть классифицированы на четыре основные системы управления: **двигателем и трансмиссией, тормозными свойствами и ходовой частью (активной безопасностью); оборудованием салона.**

**Устройства управления оборудованием салона (отсека водителя):**

- а) кондиционером воздуха;
- б) электронной панелью приборов;
- в) многофункциональной информационной системой;
- г) навигационной системой (как опция).

Современный легковой автомобиль, например, содержит электронные средства, стоимость которых достигает **12-17%** его общей стоимости. Электронные системы и отдельные модули работают во взаимосвязи, выполняя различные функции и дополняя друг друга, способствуют получению наилучших эксплуатационных показателей в самых разнообразных условиях, позволяют решать задачи резервирования, взаимозаменяемости, накапливать информацию об отказах и др.

В настоящее время известно свыше **40 видов** различных электронных систем и модулей, применяемых на транспортных средствах.

Условно их можно разделить на следующие группы:

**1. Устройства управления силовой установкой (силовым агрегатом):**

- а) двигателем;
- б) трансмиссией.

**2. Устройства управления ходовой частью, выполняемые в виде отдельных модулей:**

- а) модуль управления подвеской;
- б) модуль регулирования рулевого управления;
- в) модуль блокирования колёс при скольжении;
- г) модуль стабилизации заданной скорости движения;

**3. Устройства управления оборудованием салона (отсека водителя):**

- а) кондиционером воздуха;
- б) электронной панелью приборов;
- в) многофункциональной информационной системой.

**Общие требования для систем управления следующие:**

1. Система должна сохранять работоспособность в жёстких условиях эксплуатации транспортной машины:
  - а) колебания температуры окружающей среды  $-40...+75^{\circ}\text{C}$  (при установке в салоне);
  - б) после воздействия влажности до 90% при температуре  $+27^{\circ}\text{C}$ ;
  - в) после воздействия соляного тумана в течение 48 часов.
2. Напряжение питания бортовой сети транспортной машины с отклонениями  $+10\%$ ,  $-20\%$  относительно номинального значения не должно влиять на работу системы.
3. Система должна иметь защиту от перенапряжений, а также от изменения полярности питающего напряжения.
4. Система должна сохранять работоспособность и заданные параметры после механических воздействий в виде вибраций с частотой  $5...100\text{Гц}$  и ударных нагрузок с ускорением  $10g$ .
5. Система должна иметь защиту от влаги и пыли.

## **2 ЭБУ автомобилей**

**1. SIPS (Side Impact Protection System)** Система защиты от бокового удара

Состоит из усиленных и энергопоглощающих элементов кузова и боковых подушек безопасности, которые обычно располагаются в передних сиденьях.

**2. EON (Enhanced Other Network)** Встроенная навигационная система

В Украине пока не работает, однако в Европе преимущество EON уже оценено по достоинству. Информация о пробках на дорогах, строительных работах, маршрутах объезда со спутника поступает в бортовой компьютер вашего автомобиля. Электронный мозг машины тут же дает водителю подсказку, какой дорогой пользоваться, а с какой лучше свернуть.

**3. DME (Digital Motor Electronics)** Цифровая электронная система

управления работой двигателя. Цифровая электронная система управления работой двигателя DME осуществляет контроль за «правильным» зажиганием и впрыском топлива и другими дополнительными функциями, такими, как регулировка состава рабочей смеси. Система DME обеспечивает оптимальную мощность при минимальной токсичности выхлопа и расходе топлива.

#### 4. **ABS** (Antiblockier System) Антиблокировочная система тормозов

Задача этой системы - предотвращение блокировки колес при торможении автомобиля, сохранение его курсовой устойчивости и управляемости. Сейчас применяется на большинстве современных авто. Наличие ABS избавляет водителя от необходимости постоянно контролировать тормозное усилие на педали.

5 **AGS** (Adaptive Getriebe-Steuerung) Самонастраивающаяся система автоматической коробки передач. «Индивидуальная» коробка передач. AGS в процессе движения выбирает самую подходящую для водителя передачу. Для распознавания стиля вождения постоянно оценивается работа педалью акселератора.

«Ловятся» грань пробуксовки и момент привода, после чего передачи начинают работать по одной из заданных системой программ: «нормальная», «зимняя» и «горная/трогание с места». Кроме того, система AGS предотвращает излишние переключения, например, в пробках, на поворотах или спусках.

6. **WHIPS** (Whiplash Protection System) Элемент активной безопасности

Система устанавливается в подголовниках и спинках сидений. При ударе сзади «обхватывает и поддерживает» шею, чем снижается вероятность получения травм.

7. **EDC** (Electronic Damper Control) Электронная система регулирования жесткости амортизаторов. Иначе ее можно назвать системой, заботящейся о комфорте. «Электроника» сопоставляет параметры загрузки, скорости автомобиля и оценивает состояние дорожного полотна. При движении по хорошим трассам EDC «приказывает» амортизаторам стать мягче, а при поворотах на высокой скорости и проезде волнообразных участков добавляет им жесткости и обеспечивает максимальное сцепление с дорогой.

8 **DBC** (Dynamic Brake Control) Система динамического контроля за торможением

В экстремальных случаях большинство водителей не в состоянии выполнить экстренное торможение. Дело даже не в реакции. Просто сила, с которой автолюбители давят на педаль, недостаточна для эффективного торможения. Последующее нарастание усилия увеличивает тормозную мощность лишь незначительно. DBC дополняет систему динамического контроля устойчивости (DSC), в результате ее срабатывания процесс нарастания давления в приводе тормозов ускоряется, чем обеспечивается минимальный тормозной путь. Работа системы основывается на обработ-

ке информации о скорости нарастания давления и усилия на педали тормоза.

9. **EBD** (Electronic Brake Distribution) Система распределения тормозных сил

Обеспечивает наиболее оптимальное тормозное усилие на осях, изменяя его в зависимости от конкретных дорожных условий (скорость, характер покрытия, загрузка автомобиля и т.п.). Эффект особенно заметен на автомобилях с задним приводом.

10. **RDC** (Reifen Druck Control) Система контроля за давлением воздуха в шинах

Система RDC контролирует давление и температуру воздуха в шинах автомобиля как во время движения с любой скоростью, так и на неподвижно стоящем автомобиле. Система сообщает о падении давления в одной или нескольких шинах. Благодаря RDC удается избежать преждевременного износа и разрывов шин.

11. **PTC** (Parktronic System) Система, облегчающая парковку автомобиля

Датчики объема, установленные в бамперах, позволяют даже неопытному водителю уверенно парковаться в ограниченном пространстве.

### **3 Системы управления двигателями внутреннего сгорания**

Вид топлива влияет на структуру и алгоритм работы системы управления в том плане, что при однокомпонентном (жидком или газообразном) топливе дозировать необходимо только один компонент. При двухкомпонентном (жидкое + газообразное) топливе требуется дозировать оба компонента, причём расход одного из них необходимо рассчитывать или измерять. Тип смесеобразования (внешнее или внутреннее) и способ воспламенения горючей смеси (принудительное зажигание или самовоспламенение от сжатия) коренным образом изменяют структуру и состав системы управления.

С учётом изложенного системы управления двигателями внутреннего сгорания можно классифицировать по следующей схеме:

**1. По типу управляемого объекта:**

- а) двигатели с принудительным зажиганием;
- б) дизели;

**2. По фракционному составу топлива:**

- а) однокомпонентные;
- б) двухкомпонентные.

**3. По выполняемым функциям системы управления:**

- а) управление подачей топлива;
- б) управление зажиганием;
- в) регулирование частоты вращения.

**4. По критерию управления или оптимизации:**

- а) по крутящему моменту;

- б) по нагрузке;
- в) по частоте вращения;
- г) по удельному расходу топлива;
- д) по выбросу токсичных веществ;
- е) по тепловому состоянию агрегата или отдельных деталей.

**5. По принципу действия элементной базы электронных блоков системы управления:**

- а) аналоговые компоненты;
- б) цифровые.

**6. По принципу действия исполнительных устройств:**

- а) электрические;
- б) электропневматические;
- в) электрогидравлические;
- г) электромагнитные и др.

**7. По протяжённости во времени управляющих воздействий:**

- а) непрерывного действия;
- б) дискретные.

**8. По способу воздействия на объект управления:**

- а) изменение подачи топлива;
- б) изменение фазы внутрицилиндрового процесса (опережение впрыскивания или зажигания); изменение фаз газораспределения;
- в) отключение цилиндров на частичных режимах работы;
- г) изменение рабочего объёма цилиндров, степени сжатия или расширения;
- д) изменение настройки трансмиссии.

**9. По алгоритмам управления и принципам их реализации:**

- а) программные;
- б) программно-адаптивные;
- в) адаптивно-экстремальные (самонастраивающиеся).

**10. По наличию обратной связи в системе управления:**

- а) разомкнутые;
- б) замкнутые с обратной связью.

**4 Основные требования, предъявляемые к системам управления двигателями**

Для достижения наилучшей экономичности, чистоты отработавших газов или приемистости двигателя необходимо управлять количеством подаваемого топлива и фазами его воспламенения в зависимости от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала.

Система управления бензинового двигателя должна обеспечивать:

1. Обогащение смеси и увеличение количества воздуха при пуске холодного двигателя.
2. Регулирование состава смеси в процессе прогрева двигателя.
3. Экономический режим работы двигателя на основных эксплуатаци-

тационных режимах.

4. Обогащение горючей смеси на режиме максимальной мощности.
5. Прекращение подачи топлива на принудительном холостом ходу или отключении части цилиндров.
6. Управление работой турбокомпрессора (при наличии турбонаддува) для поддержания уровня допустимых давлений в цилиндрах при сгорании топлива.
7. Управлять моментом зажигания с учётом частоты вращения коленчатого вала и нагрузки, исключая детонационное сгорание.
8. Поддерживать стехиометрический состав смеси для надёжной работы трёхкомпонентных нейтрализаторов.

Надёжность современных электронных систем управления достаточно высока. По данным американских учёных: электронные системы подачи управления топливоподачей на автомобилях модели Lincoln имели интенсивность отказов 1,5% на 20 тыс.км пробега. Для аналогичных систем без электронного управления этот показатель составлял 8%. Тем не менее задача повышения работоспособности электронных систем управления остаётся актуальной. Чтобы обеспечить работоспособность электронных систем в жёстких условиях эксплуатации, используют различные методы контроля и тренировки компонентов электронных устройств. По данным фирмы Delco Electronics элементная база проверяется в лабораторных условиях при изменении температуры от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  с длительной выдержкой при  $t=85^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, она должна работать при  $t=35^{\circ}\text{C}$  и концентрации HCl 5%. Элементы системы должны выдерживать ударную нагрузку до 500g, вибрации с частотой 10...55Гц с ускорением 20g и длительную работу при высокочастотных вибрациях и ускорениях 20g.

Поскольку значительная часть отказов в работе электронных систем управления приходится на начальный период, вводят предварительную проверку и тренировку узлов и модулей систем с использованием автоматизированных систем испытаний. Наибольшие трудности возникают с максимальной теплостойкостью которая еще не достигает уровня  $120^{\circ}\text{C}$  для продукции ряда фирм.

Для повышения работоспособности современных микропроцессорных систем, вводят функции самодиагностики и защиты. Дальнейший шаг в этом направлении- резервирование и взаимозаменяемость.

Однако эта задача может решаться в системах с несколькими процессорами. Частично задача резервирования решается и в однопроцессорных системах, например, по умолчанию датчика система переходит на запасную программу управления, сохраняя работоспособность двигателя.

На сегодняшний день в мире разработано и серийно выпускается большое разнообразие систем управления двигателями. По назначению они бывают монофункциональные и комплексные. В комплексных системах один электронный блок управляет несколькими подсистемами: впры-

ска топлива, зажигания, фазами газораспределения, самодиагностики и др. В монофункциональных системах ЭБУ подает сигналы только системе впрыска. По распределению топлива различают многоточечный и центральный впрыски. При многоточечном впрыске установлено по одной форсунке на каждый цилиндр, а при центральном имеется одна форсунка на все цилиндры.

Кроме того, различие состоит и в способе впрыска. Впрыск может осуществляться постоянно и импульсами. При постоянной подаче топлива его количество изменяется за счет давления в топливопроводе, а при импульсном – за счет продолжительности импульса и его частоты. Таким образом за один впрыск может быть подана полная порция топлива или ее часть (обычно половина). Если за каждый оборот коленчатого вала осуществляется один впрыск топлива в каждый цилиндр, такой впрыск называется **синхронным**.

# Системы управления двигателями

## Лекция 1

### 1 Назначение, принципы работы систем управления двигателями

Автомобильный двигатель функционирует в составе сложной системы автомобиль-водитель-дорога. Сам двигатель можно рассматривать как некоторую систему, состоящую из подсистем (системы топливоподачи, зажигания, охлаждения и т.д.), которые взаимосвязаны друг с другом и образуют при функционировании единое целое. При этом следует помнить, что сам двигатель выполняет функции силового агрегата автомобиля, т.е. является подсистемой системы „Автомобиль“, поэтому управление двигателем в отрыве от автомобиля не имеет смысла. Схема двигателя как объекта автоматического управления показана на рис. 1

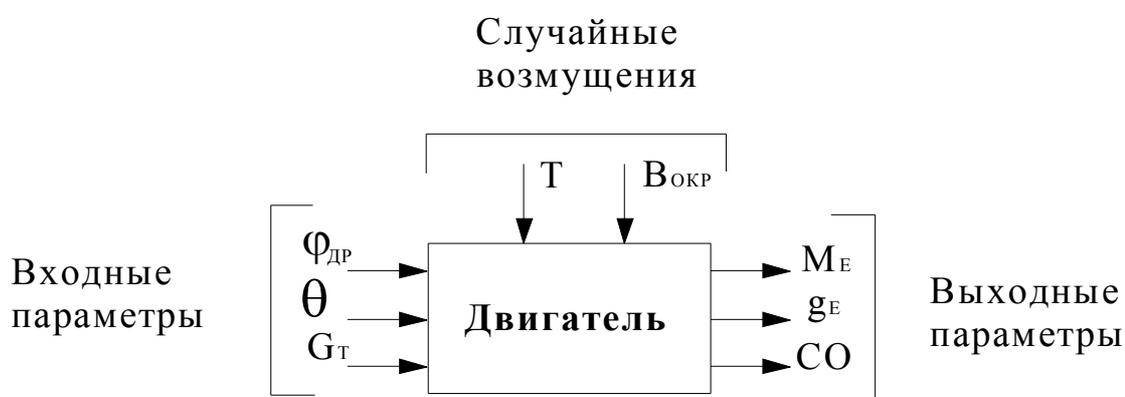


Рис. 1 - Схема двигателя как объекта управления

В теории автоматического управления объект управления характеризуется **тремя типами параметров**.

**Входные или управляющие параметры.** К их числу относятся все те, которые влияют на рабочий цикл, а следовательно, и на выходные параметры двигателя. Например, вектор управляющих параметров может состоять из трех составляющих: цикловой расход топлива, расход воздуха и угол опережения зажигания. При наличии рециркуляции отработавших газов число составляющих вектора входных параметров увеличивается на единицу. Еще больше будет составляющих вектора входных параметров у двигателя с наддувом или с форкамерно-факельным зажиганием.

Значения входных параметров определяются внешними воздействиями на объект со стороны водителя или системы автоматического управления с целью изменения выходных параметров двигателя, поэтому входные параметры называют также управляющими.

**Выходные или управляемые параметры.** Эти параметры характеризуют состояние объекта и образуют вектор управления. К ним относятся: крутящий момент, частота вращения коленчатого вала, показатели экономичности двигателя, токсичность отработавших газов, их тем-

пература при наддуве и др.

Случайные возмущения. Компонентами этого вектора являются контролируемые и неконтролируемые воздействия стохастического (случайного) вида. Эти возмущения, как и входные параметры, поступают па объект извне, но и отлично от последних они мешают, управлению и поэтому называются также помехами. Среди случайных возмущений можно назвать колебания параметров окружающей среды, свойств топлива и масла и др.

Стохастичность поведения объекта связана, с одной стороны, с наличием источников случайных возмущений, а с другой, со сложностью самого объекта. Она является важной чертой объекта, обуславливающей трудности управления им.

## 2 Классификация систем управления

Если привести классификацию систем управления по признакам обработки информации, то все системы разделяются на четыре основных группы.

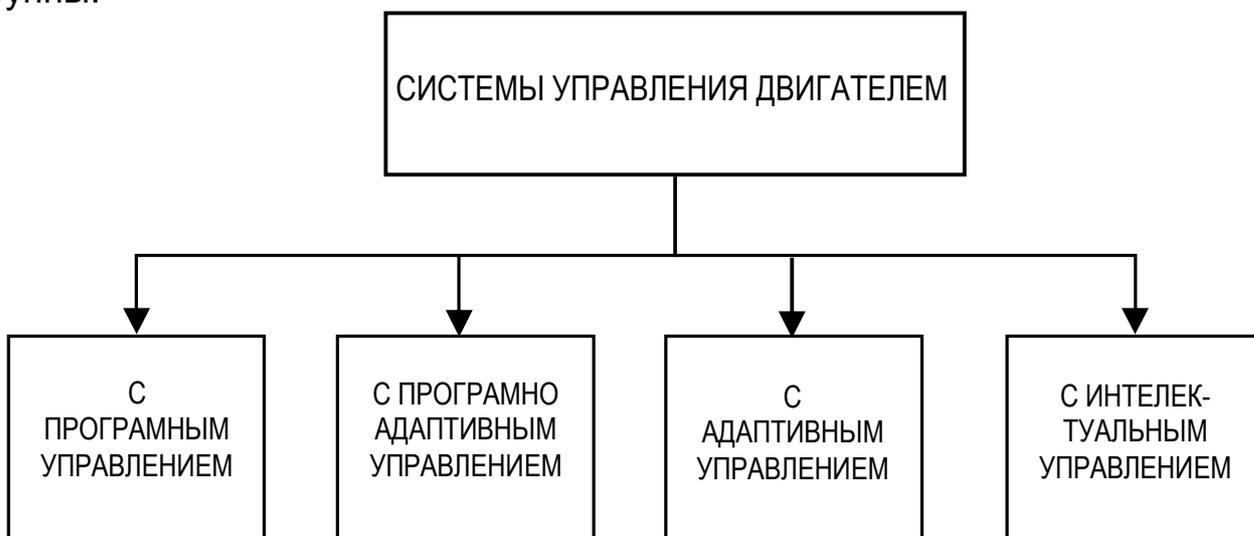


Рис. 2 - Классификация систем управления двигателем по информационному признаку

### **Системы с программным управлением.**

В эту систему входят обычные карбюраторы, системы зажигания с автоматами опережения зажигания и постоянными программами действия и все другие автоматические системы управления двигателем без обратной связи. Причем и системы управления, в которых использовались средства электроники, тоже были построены как системы с программным управлением. Обычные карбюраторы действуют как системы с программным управлением, а карбюраторы в которых компенсация состава горючей смеси производилась методом повышения

давления у жиклера или введением компенсационного жиклера, являются системами, в которых информация о расходе воздуха непосредственно без промежуточных звеньев воздействует на истечение топлива. Таким образом, объясняется то, что карбюраторы с системй компенсации путем повышения давления у жиклера получили наибольшее распространение. Все остальные системы управления двигателем - системы с промежуточными звеньями.

#### **Системы с программно адаптивным управлением.**

Применение средств электроники позволило перейти в ряде случаев к программно-адаптивным системам. Основным фактором, стимулировавшим применение указанных систем явилась необходимость уменьшения токсичности отработавших газов с помощью трехкомпонентного нейтрализатора, который эффективен только при стехиометрическом составе горючей смеси. Обеспечить в условиях эксплуатации стехиометрический состав горючей смеси оказалось возможным только при введении обратной связи с помощью датчика кислорода, установленного в выпускном трубопроводе. Другим стимулом для применения программно - адаптивных систем явилось стремление предохранить двигатель от разрушительного действия детонации. Большое влияние факторов, влияющих на возникновение и интенсивность детонации, делает программно - адаптивную систему подавления детонации наиболее эффективной особенно при применении неэтилированных бензинов, так как соединения свинца "отравляют" каталитические нейтрализаторы.

**Программно - адаптивные системы по критерию детонации** получают с кажлым годом все большее распространение. Эти системы применяются и в двигателях с наддувом и другими устройствами регулирования газообмена.

#### **Системы с адаптивным управлением.**

Такие системы являются наиболее высоким уровнем автоматизации управления циклами двигателя.

**Системы с интеллектуальным управлением.** Это группа систем ближайшего будущего, которые уже начинают появляться, и видимо, скоро займут ведущее место в системах управления двигателем и автомобилем.

### **3 Основные функциональные задачи СУД**

**Назначение** системы управления состоит в том, чтобы обеспечить оптимальный состав рабочей смеси в цилиндрах двигателя и воспламенить её в цилиндре двигателя в определённый момент времени.

Двигатель является устройством, выполняющим функцию управляемого преобразования химической энергии топлива в механическую работу (энергию).

Как объект управления двигатель характеризуется: **входными** параметрами – параметрами, влияющими на протекание рабочего процесса в двигателе. Их значения определяются внешними воздействиями на двигатель со стороны водителя или СУД, поэтому их также называют **управляющими**.

К их числу можно отнести:

- угол открытия дроссельной заслонки  $\varphi_{др}$ ;
- угол опережения зажигания  $\theta$ ;
- цикловая подача  $G_{ТЦ}$ ;
- цикловое наполнение двигателя  $G_{ВЦ}$  и т.д.

**Выходными (управляемыми)** параметрами, характеризующими состояние двигателя в рабочем режиме. К ним относятся:

- частота вращения коленчатого вала  $n$ ;
- отдаваемая мощность на валу  $P$ ;
- крутящий момент  $M_{в}$ ;
- показатель топливной экономичности  $g_e$ ;
- показатели токсичности отработавших газов (содержание CO, CH, NO<sub>x</sub>) и др.;

внутренними параметрами или параметрами состояния, характеризующими рабочие процессы, состояние обеспечивающих систем, конструктивные особенности двигателя.

Например:

- температура двигателя  $T_{дв}$ ;
- напряжение в электрической сети  $U_0$ ;
- степень сжатия рабочей смеси  $\epsilon$  и пр.;

внешними воздействиями, носящими случайный характер и мешающими управлению. К ним могут быть отнесены:

- температура атмосферного воздуха  $T$ ; атмосферное давление  $p$ ;
- влажность воздуха  $h$  и т.п

Состав рабочей смеси характеризуется двумя основными показателями:

- отношением количества топлива и воздуха в составе смеси показатель – «лямбда» ( $\lambda$ )
- гомогенностью (однородностью) т.е. качеством смешивания составных частей смеси.

Момент воспламенения смеси определяется углом опережения зажигания.

## 4 Принципы управления

Принцип управления дает общее представление о способе управления объектом управления. Он показывает, как объект управления должен реагировать на возмущения и управляющие сигналы. Охарактеризуем принципы, заложенные в основу построения существующих систем управления (СУД).

Автомобильный двигатель представляет собой систему, состоящую из отдельных подсистем: топливно-эмиссионной, зажигания, охлаждения, смазки и т.д. Все системы связаны друг с другом и при функционировании они образуют единое целое.

Управление двигателем нельзя рассматривать в отрыве от управления автомобилем. Скоростные и нагрузочные режимы работы двигателя зависят от скоростных режимов движения автомобиля в различных условиях эксплуатации, которые включают в себя разгоны и замедления, движение с относительно постоянной скоростью, остановки.

Водитель изменяет скоростной и нагрузочный режим двигателя, воздействуя на передаточное отношение трансмиссии автомобиля и педаль акселератора (дроссельную заслонку). Выходные характеристики двигателя при этом зависят от состава топливовоздушной смеси и угла опережения зажигания, управление которыми осуществляется с помощью механических, электронно-механических или электронных систем управления двигателем, автоматически.

Для двигателя внутреннего сгорания характерна периодическая повторяемость рабочих циклов. Поэтому важным принципом управления двигателем является цикличность управления. Это обуславливает необходимость согласования частотных параметров управляющих воздействий с частотой рабочих циклов двигателя. Иными словами, СУД должна успевать воспринимать информацию о состоянии двигателя, обрабатывать ее и передавать соответствующие управляющие воздействия на двигатель в течение ограниченных по времени тактов рабочего цикла (2-3 мс), что накладывает жесткие требования на быстродействие СУД.

Как объект управления двигатель является **нелинейным**, так как реакция на сумму любых внешних воздействий не равна сумме реакций на каждое из воздействий в отдельности. Учитывая, что двигатель обычно работает на нестационарных (переменных во времени) режимах, возникает проблема оптимального и адаптивного (самонастраиваемого) управления двигателем. Принципы оптимального и адаптивного управления оказались возможным реализовать благодаря развитию электронных систем управления.

Следует заметить, что для построения оптимальных адаптивных управляющих систем требуется наличие математических моделей объекта управления. Из-за сложности конструкции, наличия допусков на размеры деталей, двигатели одной и той же модели имеют различные характеристики. Кроме того, по конструктивным параметрам отличаются и отдельные цилиндры многоцилиндрового двигателя. В этой связи, общие, достаточно точные и полные математические модели двигателей внутреннего сгорания в традиционном аналитическом виде в настоящее время отсутствуют (это характерно

для большинства сложных технических систем). Выход находят в построении эмпирических зависимостей между параметрами индивидуальных типов двигателей и представлении их в форме таблиц. Эти таблицы содержат большие объемы данных и могут быть использованы в системах управления только при наличии средств вычислительной техники, обладающей достаточным объемом памяти и высокой вычислительной мощностью.

Автомобильный двигатель представляет собой многомерный объект управления, т.к. число входных параметров у него больше одного и каждый входной параметр воздействует на два и более выходных. В таком случае система управления должна быть многомерной. Для многомерных объектов управления таблицы зависимостей между параметрами должны быть также многомерными. Такие таблицы и их графическое представление называют характеристическими картами. Более подробно мы остановимся на них ниже.

Широкое распространение автомобильных двигателей предопределило большое разнообразие их конструкций. Это приводит к многовариантности систем управления. Так, если в карбюраторных системах топливоподачи практически не используется электроника, то современные системы впрыска топлива создаются только на основе управления электронными системами. А это приводит, в свою очередь к взаимовлиянию развития электронной (и, прежде всего, вычислительной) техники на конструктивную реализацию проектируемых двигателей.

На основании вышеизложенного сформулируем **основные принципы управления двигателем:**

- цикличность управляющих воздействий, синхронизированная с тактами рабочего цикла двигателя;**
- сочетание программного управления с обратными связями;**
- оптимальность и адаптивность управления.**

## **5 Критерии управления**

Выбор критериев управления диктуется целями или целевыми задачами, решаемыми объектом управления.

Автомобильный двигатель - сложная система, целевые задачи которой соответствуют потребностям различных групп людей и противоречивы уже хотя бы поэтому. Так, перед конструктором двигателя стоит проблема сделать максимально надежный, максимально мощный двигатель. Потребитель ожидает появления на рынке предельно простого в эксплуатации, дешевого и экономичного автомобиля; соответствующих качеств он ожидает и от двигателя. Легкий, бесшумный, экологически чистый двигатель - требование

борцов за охрану окружающей среды. Система управления двигателем как система, обеспечивающая его оптимальное функционирование, подчинена целевым задачам управляемой системы, т.е. собственно двигателя.

**Считается что основное предназначение систем управления двигателем состоит в обеспечении:**

максимальной мощности двигателя при минимальном расходе топлива (энергии), да вдобавок к этому, - обеспечении минимального содержания вредных веществ в выхлопных газах. Можно показать, что такой идеальной системы управления (удовлетворяющей сразу всем этим критериям) в природе не существует.

Предположим, что содержание вредных веществ в выхлопных газах зависит от качества рабочей смеси, поступающей в цилиндры поршневого двигателя. Вначале качество смеси охарактеризуем словесно: богатая, бедная и нормальная, что соответственно означает избыток, недостаток и рациональное относительное содержание топлива в ее составе. Представленные на рис. 3 зависимости мощности и экономичности двигателя от качества смеси говорят о том, что максимальной мощности можно добиться при богатой смеси, минимума расхода - при обедненной.

Принципиально невозможно создать такую систему управления, которая одновременно удовлетворяла бы критериям максимума мощности и минимума расхода. Принципиально - потому, что смесь не может быть и бедной и богатой одновременно.

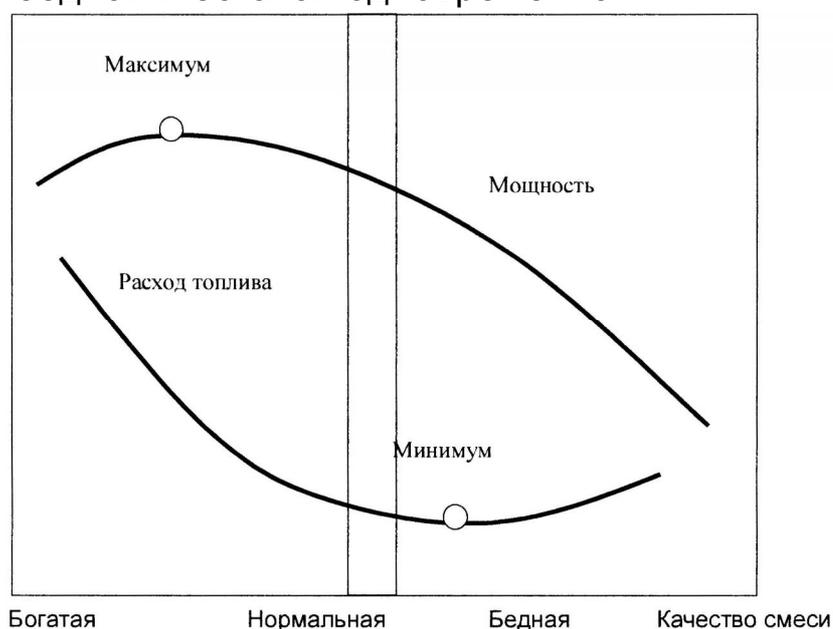


Рис. 3

В угоду мощности можно пожертвовать некоторым количеством топлива, обогащая смесь, что, кстати и делается на отдельных режимах работы двигателя (например, при запуске, на режимах максимальных нагрузок) или на отдельных классах автомобилей. Это приводит к интенсивному образованию нагара, повышенным нагрузкам

на механизмы и узлы двигателя и автомобиля и, как следствие, к резкому снижению надежности двигателя, его ресурса.

В интересах повышения экономичности АД некоторые производители специально обедняют рабочую смесь. При этом возникают тенденции к детонации, двигатель перегревается из-за медленного сгорания топлива. В итоге - тот же эффект. Как найти компромисс между этими взаимно исключаящими друг друга требованиями? Компромисс был найден. В его основе - последний из приведенных критериев – экологическая безопасность автомобильного транспорта.

Системы управления создают, прежде всего, для обеспечения стабильной и экологически безопасной работы двигателя.

Следовательно, правильнее было бы определить систему управления двигателем как такую систему, которая стремится обеспечить максимально безопасную (с точки зрения охраны окружающей среды) работу двигателя, при приемлемых мощности и экономичности двигателя. Ниже будет показано, что такое стремление на большинстве режимов достигается весьма успешно, однако в ряде случаев конструкторам не удается полностью избавиться от вредоносности автомобильных выбросов.

## **6 Основные требования, предъявляемые к системам управления двигателями**

Для достижения наилучшей экономичности, чистоты отработавших газов или приемистости двигателя необходимо управлять количеством подаваемого топлива и фазами его воспламенения в зависимости от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала.

Система управления бензинового двигателя должна обеспечивать:

1. Обогащение смеси и увеличение количества воздуха при пуске холодного двигателя.
2. Регулирование состава смеси в процессе прогрева двигателя.
3. Экономический режим работы двигателя на основных эксплуатационных режимах.
4. Обогащение горючей смеси на режиме максимальной мощности.
5. Прекращение подачи топлива на принудительном холостом ходу или отключении части цилиндров.
6. Управление работой турбокомпрессора (при наличии турбонаддува) для поддержания уровня допустимых давлений в цилиндрах при сгорании топлива.
7. Управлять моментом зажигания с учётом частоты вращения коленчатого вала и нагрузки, исключая детонационное сгорание.
8. Поддерживать стехиометрический состав смеси для надёжной работы трёхкомпонентных нейтрализаторов.

## 7 Общие принципы построения и функционирования

Для примера как работает СУД рассмотрим ее функциональную схему (рис. 4).

В контроллер от датчиков поступают аналоговые сигналы 1—11, (см. рис.3), (греч. аналогия – соответствие, сходство, подобие), или, другими словами, к контроллеру "подаются" не непосредственно температура, давление и т.д., а их электрический аналог – ток, с соответствующим образом изменяющимися параметрами (напряжение, сила).

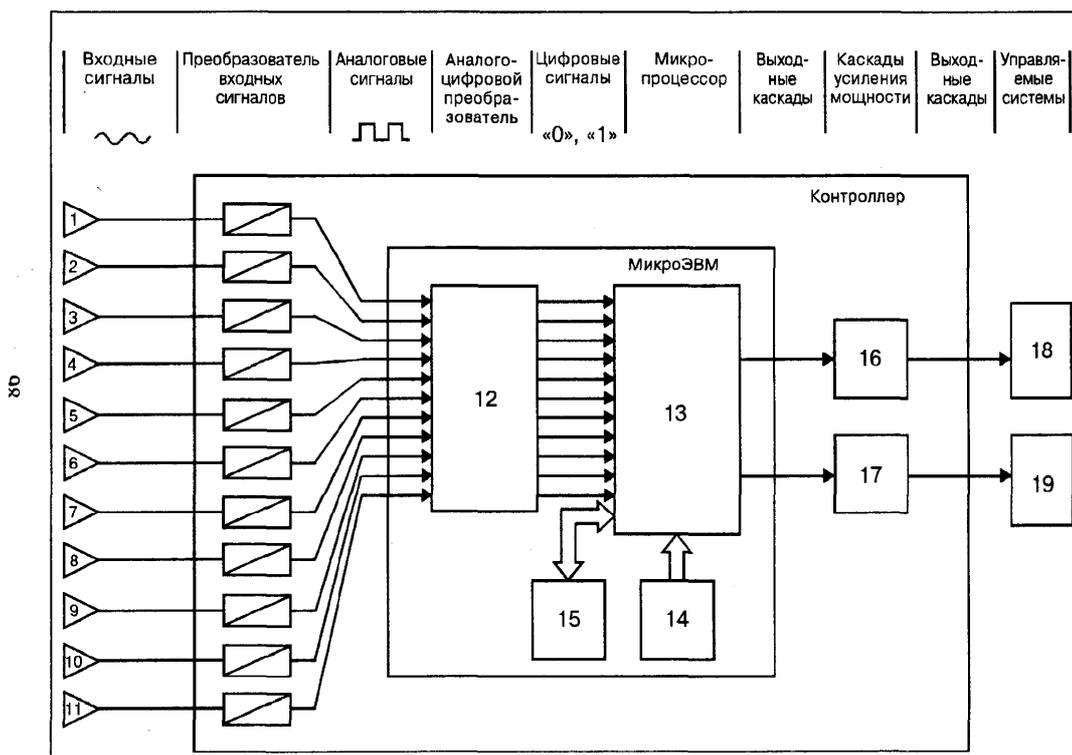


Рис. 4 – Функциональная схема электронного управления двигателем

**Входные сигналы:** 1 – угловое положение коленчатого вала, 2 – частота вращения коленчатого вала двигателя, 3 – объем всасываемого воздуха, 4 – температура всасываемого воздуха, 5 – температура охлаждающей жидкости, 6 – напряжение аккумуляторной батареи, 7 – положение дроссельной заслонки, 8 – информация о режиме пуска, 9 – жесткость сгорания, детонация, 10 – состояние двигателя, компрессия, 11 – лямбда-зонд.

**Элементы системы:** 12 – аналого-цифровой преобразователь, 13 – микропроцессор, входные и выходные схемы, 14, 15 – постоянный и промежуточный блоки памяти, 16, 17 – каскады усиления, 18 – система питания, 19 – система зажигания

В общем случае изменение токов и напряжений происходит непрерывно по тому или иному закону, например по синусоидальному. Интегральные схемы микропроцессоров ЭВМ характеризуются тем, что они работают в импульсном режиме и могут находиться только в одном из двух состояний – согласно используемой в современных ЭВМ двоичной систе-

ме счисления (только две цифры – ноль и единица). Поэтому сигналы датчиков, сначала преобразуются в "более четкие" аналоговые сигналы, которые в свою очередь в аналого-цифровом преобразователе 12, (см. рис.3), превращаются в цифровую информацию.

Микропроцессор 13 обрабатывает полученную информацию по программе, заложенной в блоке памяти 14 с использованием блока оперативной памяти 15.

Выходные сигналы микроЭВМ не могут быть использованы для непосредственного управления зажиганием, форсунками, насосом в связи с их малой мощностью. Только после прохождения их через выходные каскады усиления 16, 17 они превращаются в команды (электрические сигналы) воздействующие на системы питания и зажигания.

## Системы управления двигателями

### Общие принципы построения и функционирования

#### Лекция 2 (2 часа):

1. Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания. 2. Факторы процесса сгорания рабочей смеси. 3. Принципы функционирования СУД. 3.1 Функциональная схема комплексной СУД. 3.2 Подсистемы системы управления двигателем

#### 1 Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания

Топливо для бензиновых и дизельных двигателей состоит из различных углеводородных соединений. При сгорании углеводороды расщепляются на углерод и водород и оба соединяются с кислородом всасываемого воздуха. Воздух при нормальных условиях содержит 21% об. кислорода.

Полное сгорание происходит, когда с воздухом смешивается именно столько топлива, сколько необходимо для окисления с данным кислородом. При идеальном полном сгорании возникают не вредные для здоровья вещества, а двуокись углерода и вода.

В реальном процессе наряду с безвредными выхлопными газами азотом (N), водяным паром (H<sub>2</sub>O) и двуокисью углерода (CO<sub>2</sub>) в качестве продуктов неполного сгорания появляются окись углерода (CO), частично несгоревшие углеводороды (HC) и оксиды азота (NO<sub>x</sub>), а также двуокись серы (SO<sub>2</sub>) и копоть.

Возникающие вредные вещества существенно зависят от процесса сгорания. Оценка пропорции топлива и воздуха в смеси осуществляется по коэффициенту избытка воздуха или так называемому коэффициенту «лямбда». Коэффициент избытка воздуха  $\lambda$  (в отечественной литературе -  $\alpha$ ) - это отношение всасываемого двигателем и затем израсходованного количества воздуха L к количеству воздуха, необходимому для полного сгорания, т.е.

$\lambda = L/L_T$  ( $L_T$  - теоретическая потребность в воздухе). Теоретически полное сгорание топливной смеси для бензина происходит при соотношении воздух/топливо, равном **14,7:1** (по массе), т.е. 14,7 кг воздуха приходится на 1 кг топлива. Это соотношение называют стехиометрическим. **Объемное стехиометрическое соотношение** составляет примерно **10000:1**, т.е. на полное сгорание **1 литра** топлива необходимо затратить **10000 литров воздуха**.

Если фактическое отношение воздуха к топливу в смеси меньше 14,7, то  $\lambda < 1$  и смесь является богатой и, наоборот, – бедная смесь характеризуется большей 14,7 величиной пропорции воздух/топливо и соответственно значением  $\lambda > 1$ .

Иными словами, нормальная рабочая смесь соответствует стехиометрической пропорции (для бензина, равной 14,7) или  $\lambda = 1$ .

Если во всасываемый воздух добавляется больше топлива, то получается богатая смесь ( $\lambda < 1$ ) и углеводороды сгорают лишь частично. Со-

держание **НС** и **СО** в выхлопном газе соответственно повышается. При бедной смеси ( $\lambda > 1$ ) топливо полностью сгорает и в выхлопном газе остается кислород. В результате плохого сгорания, однако, снова повышается доля **НС** при растущей лямбде.

Возникающие главным образом при неполном сгорании газы - ядовиты и поэтому мировое сообщество принимает законы, ограничивающие вред, причиняемый автомобильным транспортом атмосфере и людям.

### **Возникновение и свойства вредных веществ**

**Окись углерода.** Окись углерода появляется главным образом при недостатке воздуха ( $\lambda < 1$ ), т.е. при богатой смеси, если подается слишком много топлива. При недостатке топлива, т.е. при избытке воздуха ( $\lambda > 1$ ) и бедной смеси, концентрация **СО** в выхлопном газе, в основном, основана на неоднородном распределении смеси и на колебаниях состава смеси от цикла к циклу **СО** - это газ без цвета и запаха. Он лучше кислорода присоединяется к гемоглобину крови и поэтому приводит к отравлению.

**Углеводороды.** Как и у окиси углерода, недостаток воздуха ( $\lambda < 1$ ) приводит к неполному сгоранию и, вместе с тем, к эмиссии несгоревших и частично сгоревших углеводородов. В области  $\lambda > 1,1$  из-за плохого сгорания повышается доля **НС**, а при более высоких значениях появляется неравномерный ход работы двигателя.

Эмиссии углеводородов появляются также, когда смесь через зазоры между поршнем и цилиндром попадает в картер двигателя. К тому же появляются потери при испарении из топливного бака и карбюратора. В результате соответствующей вентиляции эти углеводороды сгорания могут подаваться также через управляемый клапаном фильтр с активированным углем.

Отработанные газы содержат разные виды углеводородов:

**насыщенные углеводороды** (парафины) почти не имеют запаха и обладают наркотическим действием с легким раздражением слизистой оболочки;

**ненасыщенные углеводороды** (олефины, ацетилены) имеют слегка сладковатый запах с частичным раздражением слизистой оболочки. Они участвуют в образовании смога и озона;

**ароматические углеводороды** имеют характерный запах. Это яды, поражающие нервную систему, с наркотическим и, частично, вызывающим рак действием.

**Угарные газы.** Высокая максимальная температура и высокое давление в камере сгорания вызывают определенное окисление находящегося в смеси азота. Наряду с окисью азота (**NO**) образуются в небольшом количестве двуокись азота (**NO<sub>2</sub>**) **NO<sub>2</sub>** - бесцветный газ, который на воздухе окисляется до **NO<sub>3</sub>**. **NO<sub>3</sub>** - красно-коричневый газ резкого, пронизывающего запаха. Он раздражает легкие путем отравления тканей и известен как тяжелый яд для крови.

**Двуокись серы.** Сера сгорает вместе с кислородом воздуха до двуокиси серы (**SO<sub>2</sub>**). В соединении с водой возникает сернистая кислота, ко-

торая известна как “кислотный дождь” и вредна для окружающей среды. Сера содержится в топливе в небольшом количестве, в бензине меньше, чем в дизельном.

**Соединения свинца** действуют как сильный яд на клетки крови, костного мозга и нервной системы, так как они препятствуют восприятию клетками кислорода. Поэтому сегодня используется преимущественно бензин, не содержащий свинца.

**Дым. Частицы. Сажа.** Особенно при сгорании дизельного топлива в результате сложных физических и химических процессов появляются частицы сажи, которые состоят, главным образом, из атомов углерода. На опытах с животными установили, что эти частицы вызывают раковые заболевания. Другие твердые составные части - это сера, шлаки и частички пыли (продукты истирания). Все твердые частицы в выхлопном газе образуют дым или частицы.

#### **Двуокись углерода.**

Двуокись углерода - это не вредный для здоровья продукт сгорания. Человек, и животные выдыхают  $\text{CO}_2$ . Увеличение содержания двуокиси углерода в атмосфере считается одной из важных причин парникового эффекта. Этот рост вызывается сгоранием ископаемых видов топлива в промышленности, частном домашнем хозяйстве, на транспорте, а также из-за рубяния тропических лесов.

Доля транспорта оценивается при этом в 10-15%. Поэтому, наряду с сокращением собственно вредных веществ, существует задача сохранения потребления топлива и, вместе с тем, эмиссии  $\text{CO}_2$  на как можно более низком уровне. Производители автомобилей добровольно обязуются понизить  $\text{CO}_2$ .

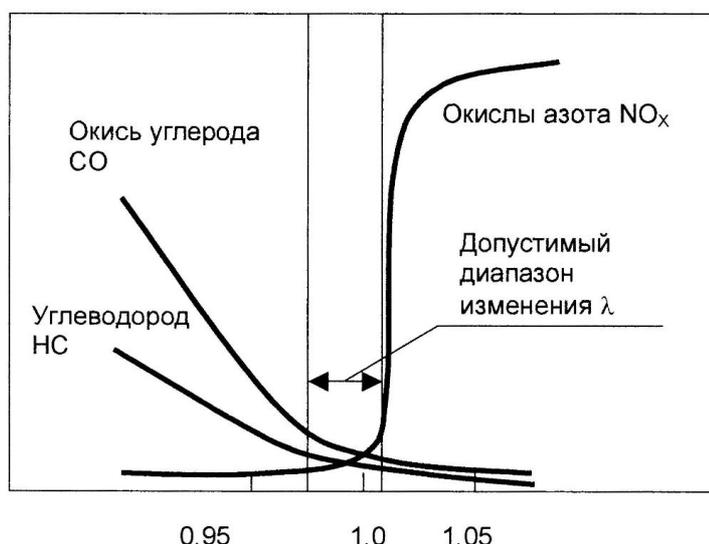


Рис. 1 Зависимость содержания вредных веществ в отработанных газах от состава горючей смеси

На рис. 1 приведены графики содержания опасных веществ в составе выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания, которые поясняют целесообразность поддержания значения коэффициента  $\lambda$ , равным 1 (или в некоторой малой окрестности 1).

## 2 Факторы процесса сгорания рабочей смеси

Мощность, топливная экономичность двигателя, его «экологичность» тесно связаны с характеристиками сгорания рабочей смеси в двигателе, которые, в свою очередь, зависят от многих факторов, и прежде всего от таких как:

- конструкция цилиндропоршневой группы;
- турбулентность рабочего заряда в цилиндре;
- характеристики топлива;
- наличие остаточных выхлопных газов в цилиндре;
- температура рабочей смеси;
- энергия зажигания смеси;
- установка момента зажигания;
- качество приготовления рабочей смеси.

Если первые три фактора остаются относительно стабильными в процессе эксплуатации АД и слабо управляемы, то последние пять, и прежде всего, **момент зажигания** и **качество приготовления смеси** являются достаточно **динамичными переменными**. Ими можно управлять. Правильный подбор параметров этих факторов может оказать существенное влияние на стабильность работы АД на всех его режимах. Ниже кратко охарактеризуем названные факторы.

**Конструкция цилиндро-поршневой группы** определяется на заводе-изготовителе путем расчетов, моделирования и экспериментальной отработки на стендовом оборудовании. При проектировании двигателя рассчитываются и оптимизируются многие конструктивные параметры, в том числе:

- степень сжатия;
- форма цилиндров и камеры сгорания;
- период и последовательность управления клапанами;
- форма всасывающей трубы и др.

При высокой степени сжатия в связи с повышением плотности заряда вырастает скорость распространения пламени.

Конструкция цилиндра определяет место впрыска топливно-воздушной смеси, расположение свечи зажигания.

Выборочное прекращение подачи топлива к отдельным цилиндрам позволяет обеспечить высокий КПД в оставшихся цилиндрах с улучшенным сгоранием и газообменом. Отключение клапанов обеспечивает дальнейшее уменьшение потерь мощности, т.к. впускные и выпускные клапаны остаются закрытыми.

Всасывающая труба обеспечивает подготовку рабочей смеси к воспламенению. На ряде фирм (BMW, Ford, Opel, Citroen) применяют системы с динамическим наддувом, а также изменяемую в зависимости от режимов работы двигателя геометрию впускного трубопровода, что обеспечивает повышение крутящего момента и снижение расхода топлива в широком диапазоне частот вращения коленчатого вала двигателя.

Следует все же признать, что современные технологии пока еще не позволяют создавать объемные конструкции АД, геометрическими и топологическими свойствами которых можно было бы эффективно управлять в процессе их эксплуатации (без снижения общей надежности автомобиля). Иначе говоря, пока еще сложно и дорого широко внедрять подобные системы.

**Турбулентность заряда.** В момент воспламенения рабочая смесь в цилиндре не стоит на месте, а движется в форме вихревых потоков. Эти вихри способны распространению пламени, поэтому камеры сгорания конструируют таким образом, чтобы повысить турбулентность газовых вихрей. Изменение турбулентности на различных режимах работы двигателя - задача важная и пока еще находящаяся в стадии научных экспериментов.

**Характеристики топлива.** Автомобильное топливо является носителем химической энергии, обеспечивающей функционирование сжигающего его двигателя. Основные свойства топлива, определяющими его сорт, возможность использования в том или ином типе АД, по существу зависят от химического состава топлива и описываются следующими характеристиками:

- наличие присадок в топливе;
- антидетонационные свойства;
- плотность;
- теплотворная способность;
- испаряемость.

Параметры этих характеристик нормируются международными и государственными стандартами. Особое внимание при этом уделяется показателям топлива, влияющим на безопасность окружающей среды. Например, применение этилированных бензинов на современных моделях двигателей запрещено, а антидетонационные свойства неэтилированных бензинов улучшаются за счет неметаллических добавок, таких как метилбутиловые эфиры и/или спиртовые смеси.

Для эффективной работы АД большое значение имеет соответствие используемого топлива тому стандартному типу, на который рассчитан конкретный двигатель. В перспективных СУД предполагается автоматическое определение характеристик заливаемого в бак топлива с целью регулировки соответствующих управляемых параметров, а на существующих иногда применяется октан-корректор.

**Температура рабочей смеси.** Температура смеси - критически важный параметр для режима запуска переохлажденного двигателя, особенно в зимних условиях. Вследствие непродолжительности этого режима, последствия от влияния указанного фактора на работу двигателя и его негативное воздействие на среду не столь велики. Тем не менее, правильный запуск оказывает важное, а иногда и решающее влияние на последующую работу двигателя. Поэтому, регулированию температуры рабочей смеси необходимо уделять должное внимание при разработке и эксплуатации систем управления двигателями.

**Наличие остаточных выхлопных газов в цилиндре.** Добавление отработавших газов в рабочую смесь приводит к понижению температуры сгорания топливно-воздушной смеси, что, в свою очередь, обеспечивает снижение выбросов оксидов азота, образующихся при повышенной температуре горения. На двигателях с изменяемыми фазами клапанного распределения теоретически возможно регулирование выбросов  $\text{NO}_x$  посредством изменения внутренней рециркуляции отработавших газов. Однако на современных автомобилях применяется так называемая «внешняя» рециркуляция отработавших газов, при которой часть отработавших газов с помощью специального электромагнитного клапана разбавляет свежую рабочую смесь. Наивысшая эффективность систем рециркуляции отработавших газов (EGR) достигается на режимах частичных нагрузок. Выбросы оксидов азота при этом уменьшаются почти на 60%.

**Установка момента зажигания.** Установка зажигания имеет важнейшее значение для правильного протекания рабочего процесса. Момент зажигания должен быть выбран так, чтобы давление в цилиндре достигло максимума примерно через  $12^\circ$  поворота коленчатого вала после ВМТ. Если смесь поджечь раньше (раннее зажигание), то скорость ее сгорания станет слишком высокой - смесь практически взорвется (это явление носит название детонации). Такой режим вреден для АД, его допускать нельзя.

Наоборот, если смесь поджечь слишком поздно (позднее зажигание), скорость горения будет низкой и давление в цилиндре достигнет максимума слишком поздно. В результате получим низкую мощность при большом расходе топлива (см. рис. 2)

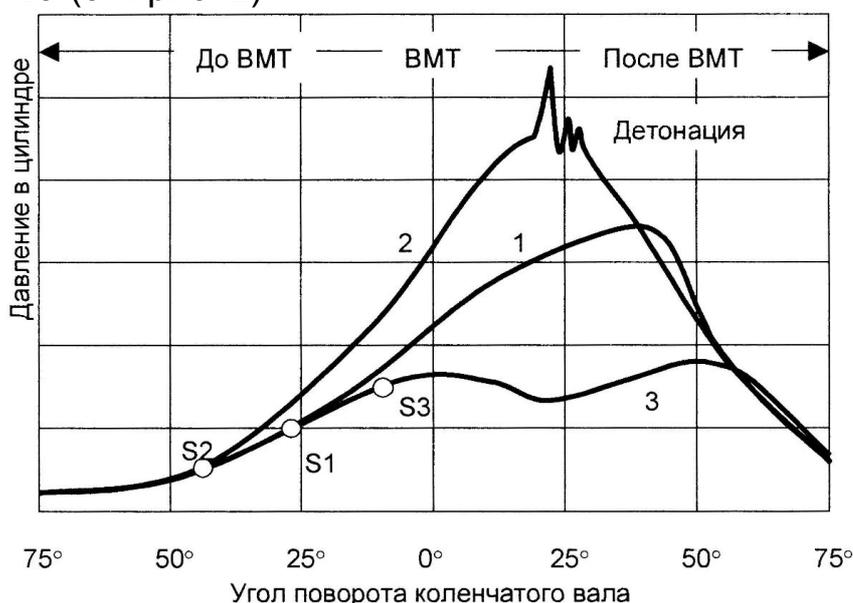


Рис. 2 - Влияние момента зажигания:

Правильная установка (зажигание в точке S1);

Раннее зажигание в точке S2;

Позднее зажигание в точке S3.

Наряду с соотношением воздуха и топлива самое большое влияние на эмиссию вредных веществ оказывает момент зажигания. При более раннем зажигании увеличивается как эмиссия  $\text{HC}$ , так и эмиссия  $\text{NO}_2$ .

Эмиссия CO почти не зависит от момента зажигания.

Расход топлива и эмиссия вредных веществ идут навстречу друг другу. С повышением коэффициента избытка воздуха для компенсации небольшой скорости сгорания должно все раньше происходить зажигание, чтобы процесс сгорания оставался оптимальным. Ранний момент зажигания означает меньший расход топлива и больший момент вращения.

Чтобы найти наиболее выгодный компромисс в зависимости от числа оборотов и нагрузки, требуется сложная регулировка момента зажигания, которая задается производителем и реализуется в современных системах управления двигателями.

### **Качество приготовления рабочей смеси**

Ясно, что соотношение воздуха и топлива оказывает важное влияние на эмиссию вредных веществ и КПД двигателя.

В богатой области (недостаток воздуха) эмиссия CO уменьшается почти в линейной зависимости от увеличения  $\lambda$  (рис. 1). В бедной области (при избытке воздуха) она очень низка и почти не зависит от  $\lambda$ . В окрестности  $\lambda=1$  эмиссия CO зависит от равномерного распределения топлива на отдельных цилиндрах.

Точное согласование подготовки смеси и ее момента ее воспламенения привело к тому, что выброс окиси углерода в современных двигателях резко сократился. Сегодня нормой являются значения меньше 1,5% объема. Слишком большая доля CO всегда является признаком слишком богатой смеси, например, из-за неправильной работы топливно-эмиссионной системы.

Эмиссия HC вокруг  $\lambda=1$  имеет минимальное значение. В богатой области эмиссия HC возрастает, так как не все углеводороды могут сгорать. Отсутствует необходимый кислород. В бедной области сгорание происходит не оптимально. Температура в камере сгорания понижается. Однако бедная смесь имеет более продолжительное сгорание, в результате чего повышается температура двигателя. При очень бедных смесях происходят пропуски при сгорании, из-за чего повышается эмиссия HC.

На абсолютную высоту эмиссии HC влияют регулировка или функция системы зажигания и состояние механики двигателя. Неправильная работа системы зажигания, неисправные свечи зажигания, дефектные кабели зажигания, тотальные пропуски зажигания, негерметичная система всасывания, негерметичность цилиндров или загрязненные клапаны впрыска являются причиной слишком большого количества несгоревших углеводородов в выхлопном газе. Еще одна причина может заключаться в слишком большом расходе масла. Содержание HC, поэтому, вместе с содержанием CO является важной измерительной величиной для обширной диагностики двигателя.

Эмиссия NOx при  $\lambda= 1,05...1,1$  имеет свое максимальное значение и снижается как в богатой, так и в бедной областях. Это связано с температурой в камере сгорания, которая имеет максимальное значение вокруг  $\lambda=1$  и снижается в обе стороны.

Двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ) появляется при каждом сгорании углерода. При этом речь идет о невреде для здоровья газе. Эмиссия  $\text{CO}_2$  у автомобилей определяется непосредственно расходом топлива.

Кислород ( $\text{O}_2$ ) появляется в выхлопном газе при избытке воздуха, т.е. при бедной смеси. При превышении значения  $\lambda=1$  происходит явный рост содержания  $\text{O}_2$ . Вместе с максимальным значением двуокиси углерода содержание кислорода является однозначным свидетельством перехода из богатой области смеси в бедную.

### **3 Принципы функционирования СУД**

В настоящее время наибольшее распространение получили комплексные системы управления двигателями, поэтому в дальнейшем мы будем уделять им основное внимание, а существовавшие ранее системы управления рассматривать как некие частные случаи.

Системы управления двигателями автомобилей с искровым воспламенением топлива имеют в своём составе как минимум две подсистемы:

- систему управления составом топливной смеси, т.е. регулировки соотношения воздух/топливо (топливно-эмиссионную);
- систему управления моментом зажигания.

На протяжении всего предыдущего периода развития автомобилестроения эти две системы развивались отдельно друг от друга. Исследования характеристик работы двигателя совместно с требованиями к составу выхлопных газов показывают, что эти системы не являются независимыми друг от друга. Например, изменение состава топливной смеси должно вызывать изменение момента зажигания для обеспечения максимальной эффективности двигателя (по выбранному критерию).

Для улучшения качества управления двигателем логично использовать один процессор (вычислитель или контроллер), который может обрабатывать входные сигналы и вырабатывать управляющие сигналы для обеих систем одновременно.

Современная концепция электронной СУД основана на применении единого блока управления системой зажигания и топливно-эмиссионной, а также других систем автомобиля: рулевого управления, подвески, автоматической коробки передач, включения и выключения сцепления, бортовой диагностики и др.

Каждая из систем, управляемых контроллером, также снабжается системой защиты от непредсказуемых последствий в случае отказа контроллера.

Как уже отмечалось, для управления АД применяются так называемые характеристические карты. Их получают в процессе стендовых испытаний АД при реализации всего диапазона внешних нагрузок и измерении отклика на них АД (в виде различных параметров). Многомерные, полученные в ходе таких факторных экспериментов, таблицы-карты заносят в память блока управления соответствующего АД.

Двумерная таблица-карта может быть наглядно представлена в виде

трехмерного графика (диаграммы).

Карты представляют основную информацию относительно взаимозависимости характеристик АД. Для получения всесторонних данных о качестве СУД необходимо иметь множество карт. Пример характеристической карты представлен на рис. 3.

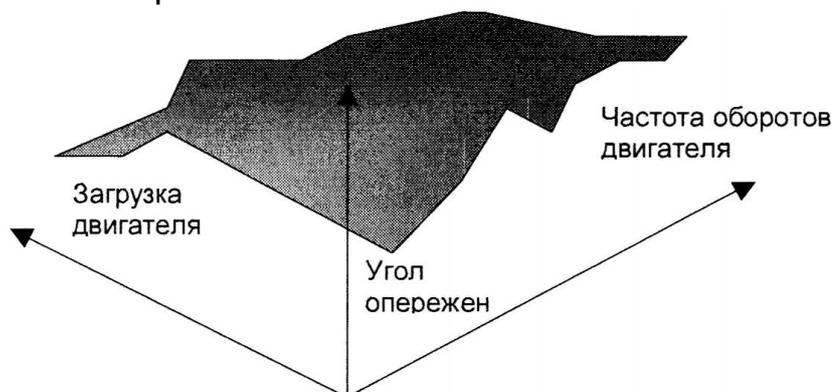


Рис. 3 - Пример характеристической карты

Обычно в системах управления зажиганием и топливно-эмиссионной используются датчики одного и того же типа. Логическим следствием этого факта является использование одного компьютера и одного набора датчиков для управления обеими системами.

Прежде, чем перейти к изучению системы управления двигателем, рассмотрим работу системы управления с обратной связью.

После того, как определены характеристические карты двигателя, они сохраняются в постоянной памяти (ROM) бортового компьютера СУД. В соответствии с этими данными осуществляется управление работой двигателя на различных скоростях вращения и коэффициентах загрузки двигателя. Однако подобное управление двигателем предполагает, что характеристики самого двигателя с течением времени не изменяются.

На самом деле это не так, поскольку в процессе эксплуатации изнашиваются поршни, направляющие втулки клапанов и прочие детали двигателя. В конечном итоге, эти процессы приводят к тому, что, например, потребное содержание воздуха в рабочей смеси будет отличаться от того, что определяет микропроцессор на основе данных, измеренных датчиками.

Эта ситуация является одним из следствий использования системы управления без обратной связи, то есть системы, в которой не осуществляется контроль фактических параметров двигателя (его приемистости или состава выхлопных газов).

Аналогичным образом, изначально настроенная установка зажигания, в процессе эксплуатации может привести к возникновению детонации и поломке двигателя.

Устранение этих проблем достигается измерением параметров двигателя с помощью датчиков, сигналы которых помогают корректировать состав рабочей смеси и момент зажигания.

Датчик детонации является элементом обратной связи и широко используется в современных двигателях. С его помощью происходит уменьшение угла опережения при возникновении детонации.

Аналогичным образом с помощью лямбда-зонда оценивается содержание кислорода в выхлопных газах и сигнал передается микропроцессору. В свою очередь, микропроцессор производит корректировку соотношения воздух/топливо таким образом, чтобы параметр лямбда был равен 1,0.

Таким образом, датчик детонации и лямбда-зонд являются составными частями системы управления двигателем с обратной связью и поддерживают требуемые параметры двигателя с учетом его износа в течении всего срока эксплуатации.

### **3.1 Функциональная схема комплексной СУД**

Рассмотрим общую схему СУД иллюстрирующую принципы управления двигателем с системой впрыска топлива, представленную на рисунке 4 (слайд )

### **3.2 Подсистемы системы управления двигателем**

#### **3.2.1 Топливо-эмиссионная система (управление впрыском топлива)**

Основной переменной, на основе которой определяется масса топлива, подаваемого на форсунки (форсунку), является масса воздуха, засасываемого в соответствующий цилиндр за рабочий цикл (цикловое наполнение).

Воздух поступает во впускной коллектор двигателя через дроссельную заслонку. Для определения величины циклового наполнения  $G_B$  [кг] измеряют расход воздуха в воздухозаборнике  $Q_B$  [кг/с] и частоту вращения коленчатого вала двигателя  $n$  [1/с]. Расход воздуха определяется с помощью датчика-измерителя, установленного перед дроссельной заслонкой. Частота вращения коленчатого вала может быть определена как с помощью специальных датчиков оборотов, так и посредством сигналов, получаемых от системы зажигания.

Величина циклового наполнения  $G_B = Q_B / n$  вычисляется в блоке управления.

Последний вырабатывает сигнал напряжения, длительность которого  $\Delta t$  пропорциональна этой величине, и подает его на управляющие обмотки топливных форсунок (инжекторов).

Топливная сеть, к которой подключены форсунки находится под давлением. Пусть его величина (а строго говоря, перепад давлений между давлением в топливной системе и во впускном коллекторе) поддерживается постоянной с помощью регулятора давления. Это обстоятельство обеспечивает точное определение величины цикловой подачи, пропорциональной длительности управляющего импульса  $\Delta t$ .

Рабочая смесь воздуха с топливом формируется во впускных каналах и цилиндрах.

Точно измеренное количество топлива распыляется над впускным клапаном независимо от того, открыт он или нет. Когда впускной клапан открывается, топливо в виде облака втягивается в цилиндр вместе с воздухом.

В СУД при вычислениях учитываются различные обстоятельства, которые могут иметь место при работе двигателя при пуске, на холостом ходу, на рабочих и максимальных нагрузках. При этом происходит учет температуры двигателя, напряжения аккумулятора, температуры поступающего воздуха, угла поворота дроссельной заслонки, которые поступают в СУД с соответствующих датчиков, установленных в двигателе и сопряженных с ним устройствах. Коррекция управляемого параметра - величины времени открытия топливной форсунки (а в конечном счете - пропорции воздух/топливо) по введенным таким образом данным осуществляется с помощью характеристических карт, занесенных в память контроллера.

### **Обратная связь по сигналам лямбда-зонда**

В целях коррекции состава смеси на современных автомобилях применяют обратную связь по сигналам так называемого лямбда-зонда, датчика остаточного кислорода в отработавших газах. Если состав смеси отклоняется от заданного значения, то в отработавших газах состав кислорода отличается от требуемого. Это распознает лямбда-зонд, установленный в выходном коллекторе. Соответствующее значение напряжения сообщается на систему управления подготовкой смеси (впрыск или электронно регулируемый карбюратор).

Система управления практически безинерционно корректирует должным образом дозировку топлива. При отсутствии кислорода в выхлопном газе поданная смесь считается богатой, вследствие этого система управления сокращает количество впрыснутого топлива. Если зонд через некоторое время определяет кислород в выхлопном газе, то повышается количество впрыснутого топлива. Так смесь колеблется между слегка богатой и бедной.

Таким образом, имеет место управление в замкнутом контуре в противоположность ранее рассмотренному разомкнутому управлению для подготовки смеси.

Совместно с управлением по сигналам лямбда-зонда используют нейтрализаторы отработавших газов, которые позволяют снизить эмиссию вредных веществ до значений, указанные в соответствующих законодательных актах относительно выхлопных газов. В области регулировки лямбда все три компонента выхлопных газов - CO, HC и NOx - оптимально низки.

### **3.2.2 Система зажигания**

Управление зажиганием основано на определении угла опережения зажигания в соответствии с информацией, поступающей от датчиков:

- скорости и положения маховика двигателя;
- давления и температуры воздуха во впускном коллекторе;

- температуры охлаждающей жидкости;
- положения дроссельной заслонки;
- напряжения в бортовой сети.

В подсистеме зажигания используются карты, записанные в постоянную память микропроцессора. В контроллере на основе сигналов от датчиков и оптимизированных характеристических карт подаются соответствующие сигналы опережения зажигания на первичную обмотку катушки зажигания.

Рассмотрим подробнее сигналы, необходимые для управления зажиганием.

**Скорость и положение маховика.** Частота вращения коленчатого вала вместе с нагрузкой двигателя - основные параметры, определяющие угол опережения зажигания. Частоту вращения можно определить, подсчитав число зубьев специального зубчатого колеса, специально закрепленного на валу, проходящего в единицу времени мимо специального датчика<sup>3</sup>. Положение коленчатого вала задает точку отсчета угла опережения зажигания. В качестве такой точки обычно принимают угол 90° до ВМТ цилиндра №1. Это положение вводится в компьютер с помощью датчика, реагирующего на специальную метку (выступ или отсутствие зуба) на зубчатом венце маховика.

**Давление и температура воздуха во впускном коллекторе** связаны с нагрузкой двигателя. Для оценки нагрузки, как вариант, используются данные и о расходе воздуха через впускной коллектор, которые могут быть получены и непосредственно с измерителя расхода воздуха и косвенно, посредством измерения угла поворота дроссельной заслонки и температуры воздуха.

**Температура охлаждающей жидкости** вводится как вспомогательный параметр для коррекции опережения зажигания по частоте и нагрузке двигателя.

**Сигналы положений дроссельной заслонки** (в особенности, крайних) нужны вычислителю для перехода на специальные программы управления двигателем в режимах холостого хода и полной нагрузки. В некоторых системах управления сигнал крайнего положения дроссельной заслонки используется для отсечки подачи топлива при увеличении оборотов двигателя сверх допустимых.

**Напряжение в сети** является дополнительным параметром. Если напряжение отличается от эталонного, то момент включения катушки зажигания сдвигается вперед или назад для достижения постоянной мощности разряда.

При выборе оптимального опережения для каждого режима работы двигателя принимается во внимание множество факторов, таких как топливная экономичность, запас по детонации, состав выхлопных газов, крутящий момент, температура двигателя, поэтому неудивительно, что графики характеристических карт имеют не совсем гладкую форму. На рис. 3 представлена качественная иллюстрация, дающая представление о том,

как регулируется угол опережения механическими центробежным регулятором и как его следует регулировать с помощью электронных СУД.

График на рисунке отображает зависимость опережения только от оборотов двигателя. Чтобы учесть еще один параметр, нужно построить уже трехмерный график, все точки которого образуют поверхность. Если выбрать любое сочетание управляющих параметров, на горизонтальной плоскости получим точку. Перпендикуляр вверх из этой точки до пересечения с поверхностью графика дает требуемое значение опережения зажигания (см. рис. 5).



Рис. 5 - Характеристика механических регуляторов опережения зажигания

Если основание карты разбить на интервалы по управляющим параметрам и построить на этих интервалах сетку, то для узлов этой сетки можно найти соответствующие значения опережения и записать их в память бортового компьютера. Для удовлетворительного управления необходимо хранить **в памяти от 1000 до 4000 таких значений**.

Помимо этого требуется дополнить карту информацией о режимах работы двигателя на холостых оборотах для их поддержания и на максимальных оборотах для их ограничения.

Кроме того, программируется режим полных нагрузок таким образом, чтобы двигатель работал рядом с границей начала детонации, но не переходил ее.

Полученная от датчиков указанных выше сигналов информация служит микропроцессору в качестве исходных данных для получения требуемых сигналов управления опережением по характеристическим картам.

### **Обратная связь по детонации**

Как уже отмечалось наличие одних лишь характеристических карт недостаточно для оптимального управления работой АД. Одна из обратных связей, охватывающих двигатель как объект управления - связь по детонации.

Детонация обнаруживается с помощью акселерометров - специальных датчиков ускорения, установленных на блоке цилиндров. В памяти

контроллера системы управления хранятся значения средних уровней вибрации каждого цилиндра, характеризующие его преддетонационное состояние. Причем эти уровни адаптируются к переменным условиям работы двигателя.



Рис. 6 - Защита двигателя от детонации:

K1...3 - детонация в цилиндрах 1...3 (в цилиндре 4 детонация отсутствует);

a - задержка перед смещением угла опережения зажигания в сторону запаздывания;

b - запаздывание зажигания; c - задержка перед восстановлением первоначального момента зажигания;

d - опережение зажигания.

Если сигнал детонации от какого-либо цилиндра превзойдет установленный для него пороговый уровень, контроллер формирует сигнал на уменьшение опережения зажигания именно в этом конкретном цилиндре на некоторый небольшой угол, например, на 1,5-2 градуса. Затем, если детонации нет, с каждым циклом происходит опережение зажигания на малую величину до значения, записанного в карте зажигания. Такая процедура непрерывно повторяется для каждого цилиндра в каждом цикле (см. рис. 6).

В результате каждый цилиндр настраивается индивидуально на работу в режиме наибольшей эффективности, которая достигается именно на границе детонации (см. рис.7). Поскольку каждый цилиндр имеет свою шумовую характеристику, для 4-цилиндровых двигателей бывает достаточно одного датчика. На 6-цилиндровых двигателях устанавливают два датчика.

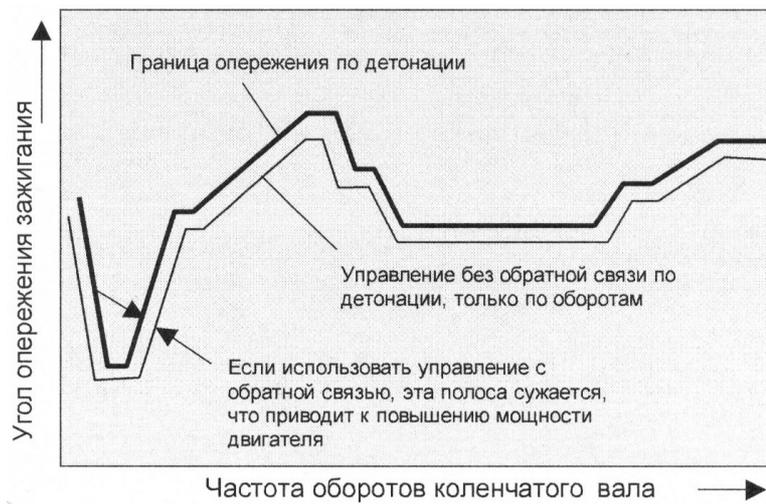


Рис 7 - Повышение мощности двигателя с управлением по сигналу детонации

При возникновении неисправности, например, при отказе датчика или обрыве провода, система управления уменьшает опережение до безопасного уровня и посылает сигнал о неисправности на приборную панель водителя.

## Системы управления двигателями. Общие принципы построения и функционирования.

### Лекция 5:

#### 3.2 Подсистемы системы управления двигателем

##### 3.2.1 Общие сведения об электронных и микропроцессорных системах автомобиля

###### Основные понятия

Понятие электронной системы является более общим, нежели понятие микропроцессорной системы. В самом общем смысле под электронной системой понимается система, построенная на радиоэлектронных элементах. Для четкого понимания различия между электронной и микропроцессорной системами введем их понятия, причем для первой в более узком смысле.

**Электронная система автомобиля** – система (узел) автомобиля, алгоритм функционирования которой определяется принципиальной электрической схемой блока управления или всего узла. При этом технически электронный блок управления (ЭБУ) или весь узел может быть выполнен на дискретных и (или) интегральных радиоэлементах, а изменение алгоритма работы системы или узла невозможно без изменения электрической схемы.

**Микропроцессорная система автомобиля** - система автомобиля, алгоритм функционирования которой определяется программой процессора электронного блока управления (ЭБУ). Таким образом, в данной системе всегда есть блок управления на основе микропроцессора и для изменения алгоритма работы системы требуется изменить программу микропроцессора.

**Основные компоненты электронных и микропроцессорных систем автомобиля.** Рассмотрим компоненты с точки зрения определения классов и типов применяемых электронных приборов, применяемых на автомобиле, а также определение требований к ним.

Современный автомобиль обладает значительным количеством электронных и микропроцессорных систем различного назначения и уровня сложности, что определило разнообразие в элементной базе устройств и технологиях их изготовления.

**Рассмотрим основные критерии классификации электронных компонентов автомобиля.**

**По типу элементов**, дискретные и интегральные электронные компоненты.

**По типу рабочего сигнала**, цифровые и аналоговые компоненты.

**По условиям применения**, стандартные (универсальные) и специальные компоненты.

Более подробно рассмотрим интегральные микросхемы (ИС), которые в настоящее время являются преобладающими в автомобильной электронике.

В подавляющем большинстве сейчас используются **монолитные**

**интегральные микросхемы** (IC- integrated circuit), то есть выполненные на едином кристалле полупроводника (чаще кремния) по планарной технологии. Данная технология позволяет производить в микросборке все полупроводниковые элементы, а также пассивные компоненты, такие как резисторы и конденсаторы. Выделяют пять уровней интеграции микросхем:

- низкая (**SSI**);
- средняя (**MSI**);
- высокая (**LSI**);
- сверхвысокая (**VLSI**);
- ультравысокая (**ULSI**).

В настоящее время производятся последние три группы интегральных микросхем.

**Аналоговые интегральные микросхемы** чаще всего делятся по назначению: операционные усилители, стабилизаторы напряжения, усилители низкой частоты, компараторы и т.д.

**Цифровые интегральные микросхемы** имеют, как правило, два критерия классификации:

- по технологии полупроводников: биполярные, на основе полевых транзисторов и гибридные.
- по назначению: логические, триггеры, регистры, шифраторы, мультиплексоры, микросхемы памяти, высокоомощные микросхемы.

Отдельным классом цифровых интегральных микросхем стоят **микропроцессоры**.

**Микропроцессор (МП)** - это программно управляемое устройство, осуществляющее процесс обработки цифровой информации и управление этим процессом, реализованное в одной или нескольких больших интегральных схемах (БИС).

**Микропроцессорная ЭВМ (или микро-ЭВМ)** - это ЭВМ, включающая микропроцессор, полупроводниковую память, средства связи с периферийными устройствами и, при необходимости, пульт управления и блок питания, объединенные одной несущей конструкцией.

В зависимости от способа конструирования микроЭВМ делят на:

- однокристалльные, выполненные на одном кристалле,
- одноплатные, реализованные на одной плате,
- многоплатные, когда микропроцессор и основная память располагаются на одной плате, средства связи с периферийными устройствами - на других.

**Микропроцессорная система (МПС)** - информационная, измерительная, управляющая или другая специализированная цифровая система, включающая микроЭВМ и средства сопряжения с обслуживаемым объектом.

**Программное обеспечение МПС (ПО МПС)** - совокупность программ, которые находятся в памяти системы и реализуют алгоритм функционирования системы.

Простейшая структурная схема микропроцессорной системы представлена на рисунке 1.

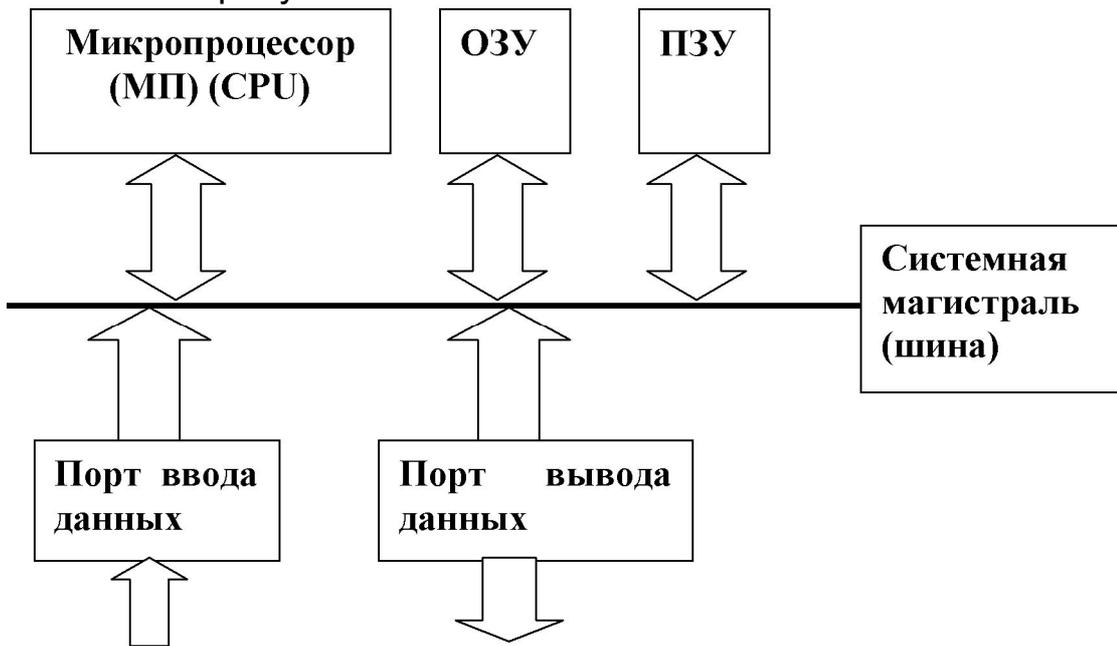


Рис. 1 - Структурная схема микропроцессорной системы



Рис. 2 - Структурная схема микропроцессора

**Счетчик команд (СК)** - регистр, содержащий адрес следующей команды

**Регистр команд (РК)** - регистр, содержащий прочитанный из памяти

код команды

**Устройство управления (УУ)** - управляет работой всех частей МПС. УУ получает код команды, которую надо выполнить и настраивает систему на ее выполнение

**Арифметическое логическое устройство (АЛУ)** обеспечивает обработку информации; выполняет арифметические и логические операции

**Аккумулятор (А)** - регистр, где хранятся результаты работы АЛУ.

**Рабочие регистры** - регистры, предназначенные для хранения промежуточной информации

### 3.2.2 Системы зажигания

Общая классификация систем зажигания.

Как уже отмечалось в предыдущей лекции, система зажигания может являться подсистемой комплексной системы управления двигателем или независимой системой. Общая классификация систем зажигания приводится на схеме (рис.3)



Рис 3 - Классификация систем зажигания

#### **Батарейно – катушечная (классическая) система зажигания, её основные узлы и принцип работы**

В первые 20 лет 20 века двигатели автомобиля обычно оснащались магнето-генератором высокого напряжения, который приводился от двигателя и не требовавшего аккумулятора.

Более прогрессивная система зажигания - батарейно-катушечная, запатентованная в 1908 году (К.Ф.Кеттерингом из фирмы DELCO) и не претерпевшая до сих пор существенных изменений.

Как уже отмечалось, все усовершенствования батарейно-катушечной системы зажигания касаются лишь способа управления катушкой зажигания, которая вместе с источником тока (например,

батареей) служит обязательным атрибутом искровых систем зажигания (СЗ), классификация которых приведена на рис.3. Общим для всех систем осталась катушка зажигания поэтому сейчас рассмотрим работу простейшей батарейно-катушечной СЗ (рис.4).

При замыкании контактов прерывателя К через  $L_1$  протекает ток  $I_1$ , нарастающей по экспоненте до максимального значения.

$$I_{\max 1} = \frac{U_a}{R_{L1}} \approx 2 \div 5 A$$

где  $U_a$  - напряжение аккумулятора;

$R_{L1}$  - сопротивление первичной обмотки катушки зажигания.

Во время изменения тока в обмотке наводится э.д.с. индукции посредством изменения магнитного поля, создаваемого в обмотке. Чем быстрее меняется магнитное поле (или ток), тем большая э.д.с. будет наведена. В первичной обмотке обычно содержится ~ 300 витков толстого провода (0.5мм). Во вторичной - порядка 20000 витков тонного провода.

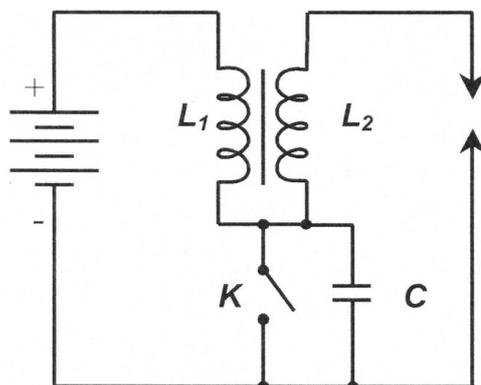


Рис.4 Принципиальная схема батарейно - катушечной системы зажигания

Если разомкнуть прерыватель (ключ К) ток в первичной обмотке резко падает, вызывая быстрое изменение магнитного поля. При этом в первичной обмотке наводится э.д.с. самоиндукции до 300 В, а во вторичной, благодаря эффекту трансформации ( $K_T \sim 20000/300 \sim 66$ ), возникает напряжение, превышающее 20кВ. Ток самоиндукции имеет тоже направление, что и прерываемый ток.



Рис.5 Изменение тока в первичной обмотке разрыве контакта прерывателя

При разрыве контактов ток самоиндукции сохраняет ток в первичной обмотке, т.е. он падает не так быстро, как хотелось бы. Кроме того, в промежутках между контактами прерывателя возникает искровой разряд, который (см. рис.5) приводит к снижению индуцированного напряжения во вторичной обмотке  $U_2$  и вызывает эрозию и разрушение контактов К.

Для устранения этих неприятностей параллельно контактам прерывателя К включают конденсатор (см. рис.4). В момент размыкания контактов ток первичной обмотки устремляется на заряд конденсатора, который быстро заряжается до напряжения сети - первичной обмотки.

Кроме того, далее конденсатор разряжается через первичную обмотку, создавая в начальной момент импульс тока обратного направления. Таким образом, ток и при наличии конденсатора  $C$  падает быстрее, что и приводит к ускорению исчезновения магнитного потока и вследствие этого к повышению напряжения во вторичной обмотке.

Характер измерения тока в первичной обмотке и напряжения во вторичной обмотке представлены на рис. 6.

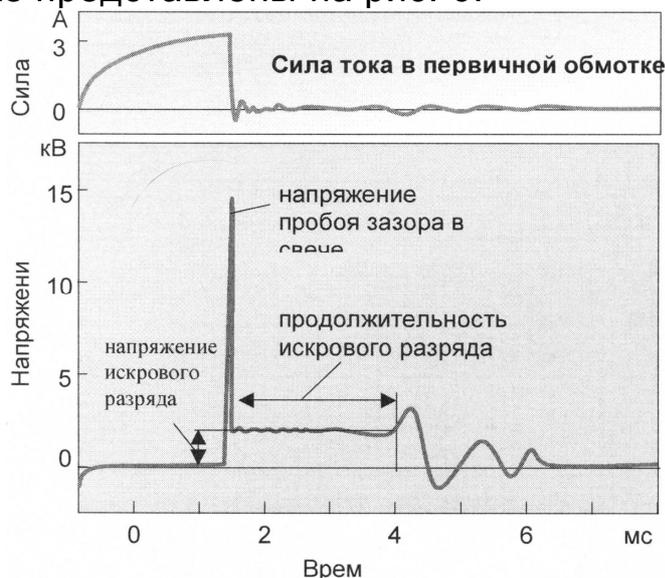


Рис.6 Сила тока и напряжение в обмотках катушки зажигания

Когда напряжение  $U_2$  достигает значения, достаточного для пробоя зазора между электродами свечи возникает искра, которая поджигает горючую смесь в цилиндре двигателя.

На рис. 7 изображены кривые измерения вторичного напряжения при отсутствии искрового разряда (например, при работающем двигателе провод высокого напряжения тсоединен от свечи - кривая 1) и при пробое воздушного зазора в свече (кривая 2). Кривую 2 можно разделить на три составляющие (фазы), отличающиеся источниками генерации напряжения:

- емкостная;
- индуктивная;
- колебательная.

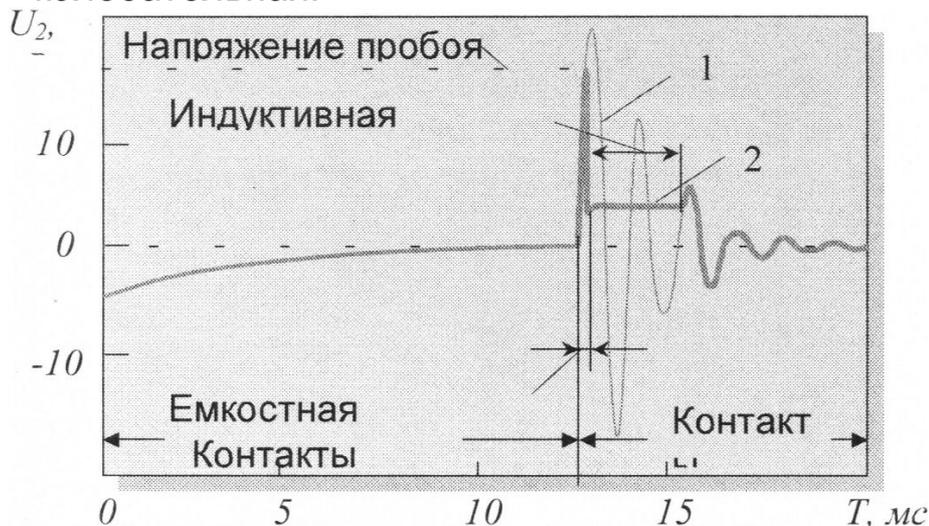


Рис. 7 - Напряжение во вторичной обмотке при отсутствии (кривая 1) и наличии (кривая 2) искры

1. **Емкостная** составляющая или емкостная фаза характеризуется высоким пиковым значением напряжения – так называемым пробивным напряжением (5-12тыс. В) и короткой длительностью (порядка 0,3 мс). Своим происхождением и названием она обязана источнику индуцированного напряжения - емкости  $C$  шунтирующей контакты прерывателя.

Искра между контактами свечи благодаря высокому напряжению емкостной фазы имеет высокую температуру и яркий голубоватый цвет.

2. **Индуктивная** составляющая характеризуется относительно большой длительностью (около 2-3 мс) горизонтального участка (с возможным наклоном вверх или вниз). Индуктивная фаза возникает вследствие энергии накопленной в индуктивности вторичной обмотки катушки зажигания, и характеризуется напряжением горения вольтовой дуги (от 1 до 2 кВ). Цвет искры в этой фазе - теплый, красноватый.

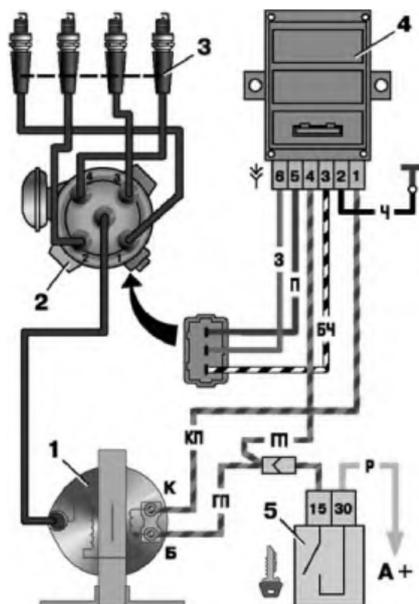
3. **Колебательная** фаза возникает вследствие перераспределения энергии между емкостью  $C_1$ , индуктивностями  $L_1$ ,  $L_2$  и емкости проводов высоковольтного тракта  $C_2$ .

Пробивное напряжение во многом зависит от режима работы двигателя. У двигателя, работающего на больших оборотах с полной нагрузкой. Пробивное напряжение минимальное (4-5 кВ), а в режиме холодного пуска - максимальное (9-12 кВ).

### Бесконтактно-транзисторные системы зажигания (БТСЗ)

БТСЗ начали применять с 80-х годов. Если в контактных системах зажигания (КСЗ) прерыватель непосредственно размыкает первичную цепь, в контактно-транзисторной системе зажигания КТСЗ - цепь управления, то в БТСЗ (рис.8) и управление становится бесконтактным. В

этих системах транзисторный коммутатор, прерывающий цепь первичной обмотки катушки зажигания, срабатывает под воздействием электрического импульса, создаваемого бесконтактным датчиком. В БТСЗ вместо прерывателя-распределителя применяется датчик-распределитель.



1 - катушка зажигания; 2 - датчик-распределитель зажигания; 3 - свечи зажигания; 4 - коммутатор; 5 - выключатель зажигания; А - к источникам питания

Рис. 8- Принципиальная схема бесконтактно- транзисторной системы зажигания (БТСЗ-Т871) с индукционным датчиком

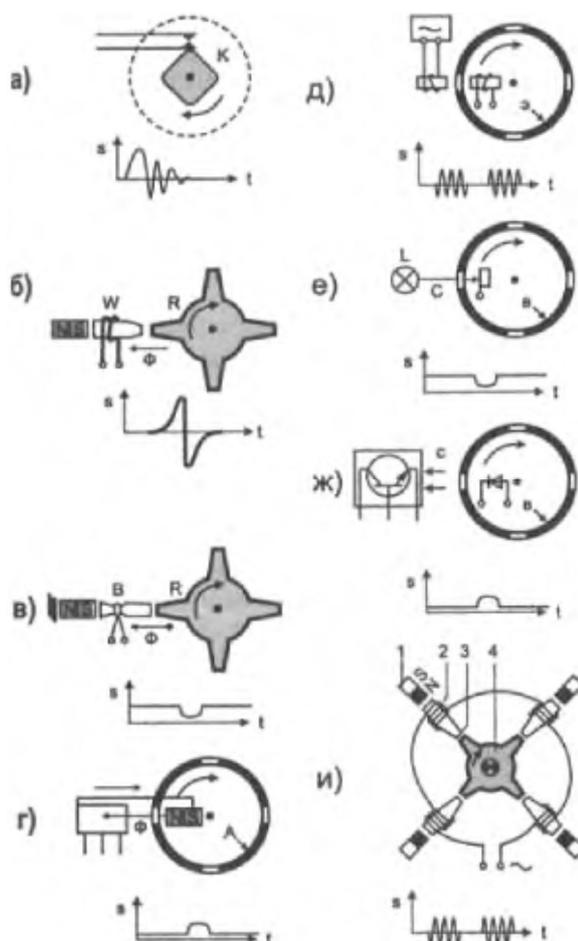


Рис. 9 - Разновидности бесконтактных датчиков для БТСЗ

Все виды датчиков, используемых в БТСЗ, делят на параметрические и генераторные. В параметрических датчиках изменяются те или иные параметры управляющей (базовой) цепи (сопротивление, индуктивность, емкость), в связи с чем изменяется сила тока базы транзистора.

Генераторные датчики (магнитоэлектрические, фотоэлектрические и др.) являются источниками питания управляющей цепи. Наибольшее распространение получили магнитоэлектрические датчики - индукционные (ГАЗ, УАЗ) и датчики Холла (ВАЗ-2108-2115). Основные виды датчиков представлены на рис. 9:

а) контактный датчик (контактная пара) прерывателя-распределителя батарейной, контактно-транзисторной и контактно-тиристорной систем зажигания. Формирует момент зажигания размыканием контактов (кулачком К). Недостатки - нестабильность сигнала, малая наработка на отказ;

б) магнитоэлектрический датчик частоты вращения ДВС. Работает по принципу генерирования одиночного импульса в момент замыкания магнитного потока  $\Phi$  ферромагнитным ротором R через магнитопровод обмотки датчика. Недостатки - невозможность получения стабильного сигнала на низких оборотах ротора;

в) феррорезистивный датчик. Работает по принципу изменения электрического сопротивления в феррорезисторе В при изменении

магнитного потока  $\Phi$  от постоянного магнита. Недостатки - зависимость сигнала от температуры;

г) датчик Холла. Наиболее распространенный датчик частоты вращения ДВС в современных ЭСЗ. Работает по принципу прерывания магнитного потока  $\Phi$  от постоянного магнита N8 ферромагнитным attenuатором А. Недостатки - сложная технология изготовления. Преимущества - стабильность параметров сигнала при любой частоте вращения ДВС;

д) электрогенераторный датчик частоты вращения ДВС. Работает по принципу прерывания электромагнитного высокочастотного поля металлическим экраном Э. Недостатки - сложность схемы. Преимущества - цифровой счет скорости вращения ДВС;

е) фотоэлектрический датчик частоты вращения ДВС. Работает по принципу прерывания светового потока С оптическим attenuатором В. Недостатки - возможность загрязнения и перегорания лампы L (низкая надежность).

Преимущество - простота;

ж) оптоэлектронный датчик. Работает по принципу прерывания светового потока С между элементами оптопары (световой диод и фототранзистор). Недостатки - загрязнение оптического канала. Преимущества - возможность применения частотной модуляции светового потока;

з) генераторный датчик с частотной модуляцией. Работает по принципу срыва автоколебаний генератора. Недостатки - сложность. Преимущества - независимость амплитуды сигнала от частоты вращения ротора 4.

Магнитоэлектрический индукционный датчик представляет собой однофазный генератор переменного тока с ротором на постоянных магнитах (рис.9). Число пар полюсов ротора соответствует числу цилиндров двигателя. Число периодов изменения напряжения за два оборота, например, четырехтактного двигателя, соответствует числу его цилиндров. Положительные полупериоды этого напряжения открывают транзистор формирующий первичный ток каскада коммутатора бесконтактной системы зажигания, что соответствует моменту искрообразования.

При малых частотах вращения коленчатого вала создаваемого напряжения недостаточно для переключения транзистора. Для устранения этого недостатка вводят специальный формирующий каскад. В результате средний потребляемый ток в схеме с индукционным датчиком довольно большой (6-8 А). Тем не менее, на малой частоте вращения холостого хода не избежать разряда аккумулятора.

В случае работы системы с датчиком Холла время накопления энергии в катушке зажигания остается постоянным независимо от частоты вращения коленчатого вала, т.е. энергия искры практически не зависит от оборотов двигателя и напряжения бортовой сети, КПД этих систем очень

высокий.

Устройство коммутатора для таких бесконтактных систем достаточно сложное (в нем есть микросхема, силовой транзистор, а также несколько резисторов, стабилитроны и конденсаторы). Энергия искры в три-четыре раза больше, чем в КСЗ.

Магнитоэлектрический датчик Холла получил свое название по имени Эдвина Холла, американского физика, открывшего в 1879 г важное гальваномагнитное явление. Достоинства этого переключателя - высокая надежность и долговечность, малые габариты, а недостатки - постоянное потребление энергии и сравнительно высокая стоимость.

Если на полупроводник, по которому (вдоль) протекает ток, воздействовать магнитным полем, то в нем возникает поперечная разность потенциалов (ЭДС Холла) Возникающая поперечная ЭДС может иметь напряжение только на 3 В меньше, чем напряжение питания.

Рассмотрим полупроводниковую пластинку размером 5x5 мм (рис.10а). Если по пластинке между двумя параллельными сторонами пропустить ток и одновременно поднести к ней постоянный магнит, а к двум другим сторонам квадрата подсоединить провода, то получим генератор Холла (рис.10б). Если между магнитом и полупроводником поместить перемещающийся экран с прорезями, получим импульсный генератор Холла.

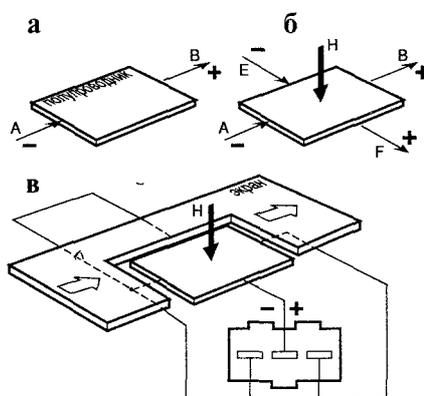


Рис. 10 – Принцип действия импульсного-генератора Холла:  
а – нет магнитного поля, по полупроводнику протекает ток питания – АВ, б - под действием магнитного поля – Н появляется ЭДС Холла – EF; в – датчик Холла

Датчик Холла имеет щелевую конструкцию. С одной стороны щели расположен полупроводник, по которому при включенном зажигании протекает ток, а с другой стороны - постоянный магнит. В щель датчика входит стальной цилиндрический экран с прорезями. При вращении экрана, когда его прорези оказываются в щели датчика, магнитный поток воздействует на полупроводник с протекающим по нему током и управляющие импульсы датчика Холла подаются в коммутатор, в котором они преобразуются в импульсы тока в первичной обмотке катушки

зажигания.

Наиболее простой в схемном и функциональном исполнении является *бесконтактная система зажигания с нерегулируемым периодом накопления энергии*. Бесконтактная система зажигания с нерегулируемым временем накопления энергии принципиально отличается от контактно-транзисторной только тем, что в ней контактный прерыватель заменен бесконтактным датчиком.

В системе, кроме того, не устранен существенный недостаток контактного зажигания - уменьшение вторичного напряжения при росте частоты вращения коленчатого вала. Поэтому более перспективна система с регулированием времени накопления энергии.

### ***Системы зажигания с регулированием времени накопления энергии***

Регулируя время накопления энергии, т.е. время, когда первичная цепь катушки зажигания подключена к сети питания, можно сделать ток разрыва этой цепи независимым или малозависимым от частоты вращения коленчатого вала двигателя, а значит, и избавиться от недостатка контактной системы зажигания - снижения вторичного напряжения с ростом частоты вращения.

Принцип такого регулирования состоит в том, чтобы с ростом частоты вращения увеличить относительное время включения катушки зажигания в сеть так, чтобы абсолютное время включения осталось неизменным.

Одной из таких систем является БТСЗ автомобиля ВАЗ-2108-10 с электронным коммутатором 36.3734-20 и датчиком Холла. Стабилизация величины вторичного напряжения достигается в схеме двумя путями: во-первых, регулированием времени нахождения выходного транзистора в открытом состоянии т.е. времени включения первичной цепи обмотки зажигания в сеть, во-вторых, ограничением величины тока в первичной цепи величиной около 8А. Последнее, кроме того, предотвращает перегрев катушки.

Схема работает следующим образом: с датчика Холла на вход коммутатора приходит сигнал прямоугольной формы, величина которого приблизительно на 3 В меньше напряжения питания, а длительность соответствует прохождению выступов экрана мимо чувствительного элемента датчика. Нижний уровень сигнала 0,4 В соответствует прохождению прорези. В момент перехода от высокого уровня к низкому происходит искрообразование. В микросхеме коммутатора сигнал в блоке формирования периода накопления энергии сначала инвертируется, затем интегрируется. На выходе интегратора образуется пилообразное напряжение, величина которого тем больше, чем меньше частота вращения двигателя. Это напряжение поступает на вход компаратора, на другой вход которого подано опорное напряжение. Компаратор преобразует величину напряжения во время. Сигнал на входе

компаратора имеет место тогда, когда величина пилообразного напряжения достигает опорного и превышает его. При большой частоте вращения величина пилообразного напряжения мала, соответственно и мала длительность сигнала на выходе компаратора. С исчезновением выходного сигнала компаратора через схему управления открывается выходной транзистор и первичная цепь зажигания включается в сеть. Следовательно, время накопления энергии в катушке соответствует времени отсутствия сигнала на выходе компаратора. Уменьшение длительности выходного сигнала компаратора позволяет увеличить относительную величину времени накопления энергии и тем самым стабилизировать ее абсолютное значение.

Блок ограничения силы выходного тока срабатывает по сигналу, снимаемому с резисторов, включенных последовательно в первичную цепь зажигания. Если этот сигнал достигает уровня, соответствующего силе тока 8А, блок переводит выходной транзистор в активное состояние с фиксированием этой величины тока.

Блок безискровой отсечки отключает катушку зажигания в случае, если включено электропитание, но вал двигателя неподвижен. При этом, если при остановленном двигателе выходное напряжение датчика соответствует низкому уровню, катушка отключается сразу, в противном случае отключение происходит через 2-5 с.

### ***Катушки зажигания электронных систем зажигания***

В контактно-транзисторных и транзисторных системах зажигания прерывание первичного тока катушки осуществляется не контактами механического прерывателя, а силовым транзистором. При этом первичный ток 11 мА может быть увеличен до 10... 11 А. Это привело к необходимости создания специальных катушек зажигания с низкими значениями сопротивления и индуктивности первичной обмотки и большим коэффициентом трансформации. В настоящее время катушки контактно-транзисторных и транзисторных систем зажигания выпускаются с автотрансформаторной схемой соединения обмоток.

Первичная обмотка катушки в таких системах зажигания низкоомная и подключается к источнику питания, как правило, через выносной добавочный резистор. Иногда применяется блок из двух добавочных резисторов. Тогда один из резисторов включен постоянно и ограничивает ток в низкоомной первичной цепи, а второй резистор выполняет роль добавочного резистора, как и в классической контактной системе зажигания.

Катушки зажигания, рассчитанные для работы с транзисторным ключом, являются мощными потребителями электрической энергии.

В электронных системах зажигания высокой энергии с нормированным временем накопления (временем протекания первичного тока) применяются катушки зажигания, аналогичные по конструкции вышерассмотренным: они имеют автотрансформаторную схему

соединения обмоток и разомкнутый магнитопровод. Но поскольку эти катушки развивают повышенное вторичное напряжение при работе на открытую цепь (до 35 кВ), их высоковольтная изоляция усилена. Кроме того, при выборе параметров катушек для современных электронных систем зажигания учитываются следующие особенности работы этих систем:

- длительность импульсов первичного тока формируется таким образом, чтобы имел место минимум рассеиваемой мощности в катушке и на силовом транзисторе коммутатора;

- время протекания первичного тока зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя и напряжения питания;

- амплитуда импульсов первичного тока ограничивается на уровне 6,5...10А в зависимости от типа электронного коммутатора;

- при неработающем двигателе, но включенном зажигании, ток в первичной обмотке катушки зажигания не протекает.

Конструктивная особенность катушек зажигания, применяемых в электронных системах с нормируемым временем накопления энергии, - наличие специального защитного клапана в высоковольтной крышке или в линии завальцовки крышки с корпусом. Этот клапан открывается в случае увеличения

давления масла, что имеет место при повышении его температуры. Срабатывание клапана - это аварийная ситуация, возникающая тогда, когда выходит из строя система управления временем накопления энергии в электронном коммутаторе. При этом длительность протекания первичного тока увеличивается, катушка сильно нагревается и давление масла внутри ее корпуса повышается. Срабатывание защитного клапана предотвращает взрыв катушки. Но после этого катушка восстановлению не подлежит. Представительницей таких катушек является катушка 27.3705, которая широко применяется в составе электронной системы зажигания, например, на автомобилях ВАЗ-2108-2115.

## МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

(продолжение лекции 5) (2 часа)

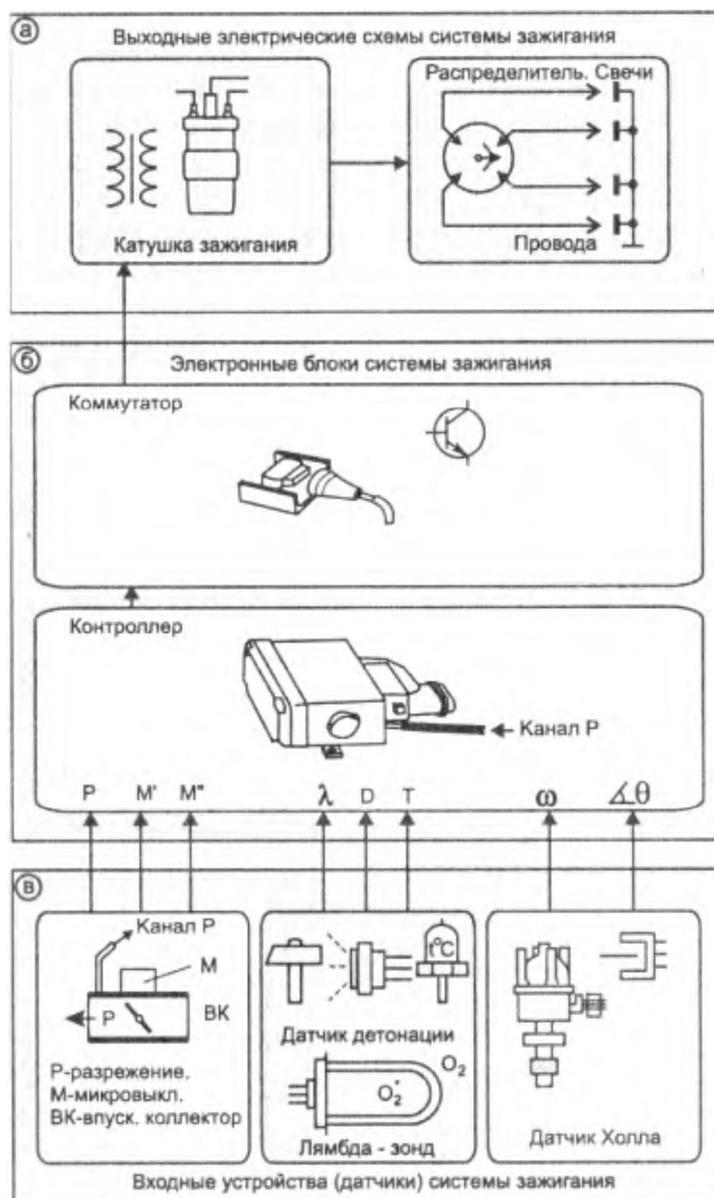
Рассмотренные выше системы зажигания (**БТСЗ**) в настоящее время имеют ограниченное применение. Им на смену пришли системы зажигания четвертого поколения - это системы с электронно-вычислительными устройствами управления и без высоковольтного распределителя энергии по свечам в выходном каскаде. Такие системы принято подразделять на электронно-вычислительные или просто на электронные (**ЭСЗ**) и микропроцессорные (**МСЗ**). Электронные и микропроцессорные системы зажигания имеют **три принципиальных отличия** от предшествующих систем:

1 Их устройства управления (УУ) являются электронно-вычислительными блоками дискретного принципа действия, выполнены с применением микроэлектронной технологии (на универсальных или на больших интегральных микросхемах) и предназначены для автоматического управления моментом зажигания. Эти устройства называются контроллерами.

2 Применение микроэлектронной технологии, помимо получения преимуществ по надежности, позволяет значительно расширить функции электронного управления. Стало возможным внедрение в автомобильную систему зажигания бортовой самодиагностики и принципов схмотехнического резервирования.

3 Выходные каскады этих систем в подавляющем большинстве случаев многоканальные и, как следствие, не содержат высоковольтного распределителя зажигания.

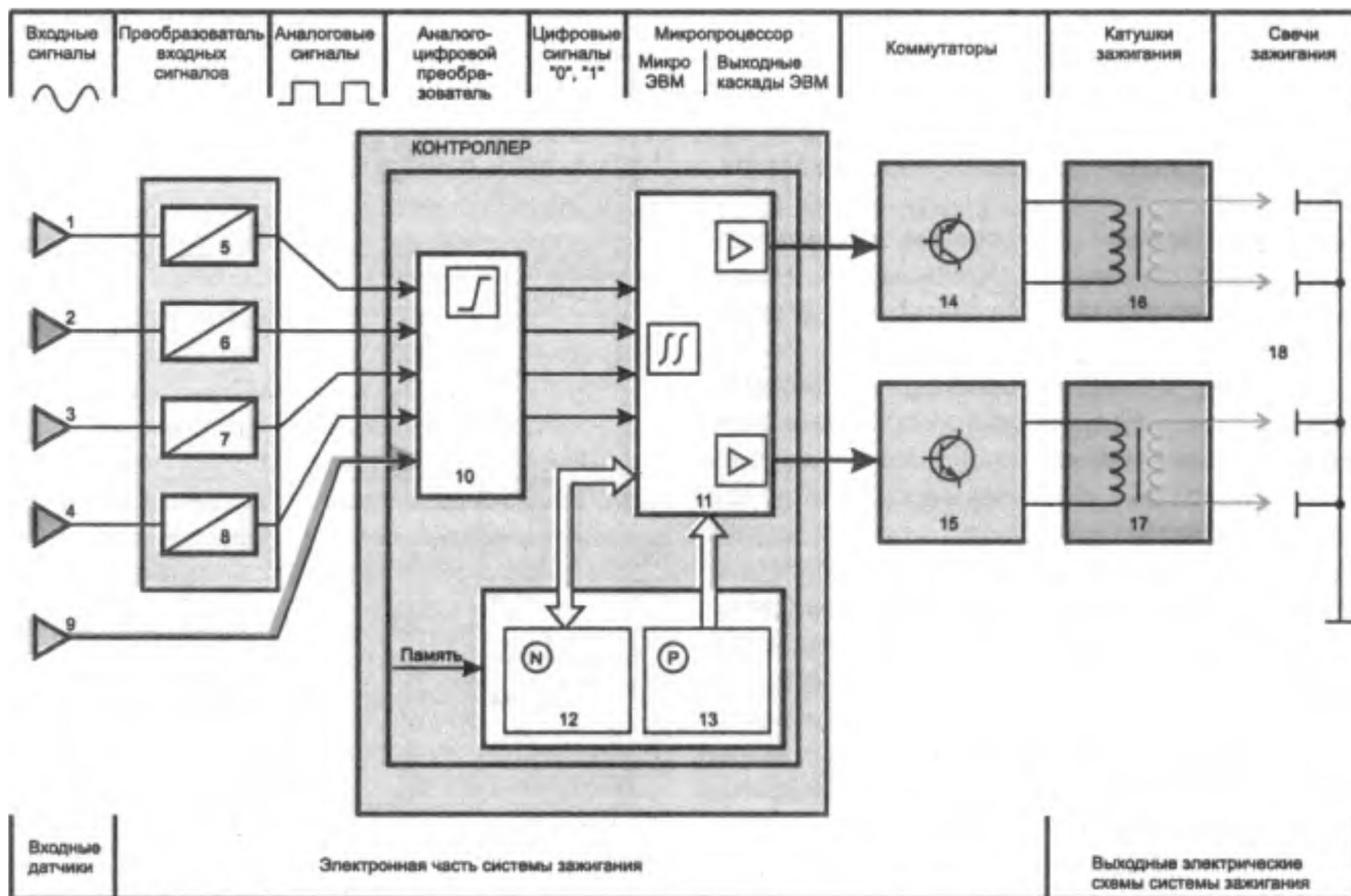
Электронные и микропроцессорные системы зажигания отличаются друг от друга способами формирования основного сигнала зажигания, т.е. того сигнала, который от ЭБУ подается на спусковое устройство накопителя. В ЭСЗ основной сигнал зажигания формируется с применением время-импульсного способа преобразования информации от входных датчиков. Это когда контролируемый процесс задается временем его протекания, с последующим преобразованием времени в длительность электрического импульса. Таким образом, в ЭСЗ контроллер содержит электронный хронометр и управляется аналоговыми сигналами. Компонентный состав современной ЭСЗ показан на рис. 11.



а - выходные электрические схемы; б - электронные блоки; в - входные устройства (датчики); Р, М', М'' - сигналы от датчиков дроссельной заслонки; λ, D, T сигналы от датчиков кислорода, детонации и температуры двигателя; ω, Δθ - сигналы от датчика Холла.

Рис. 11 - Компоненты современной ЭСЗ

В МСЗ, структурная схема которой показана на рис.12, для формирования сигнала зажигания применяется число-импульсное преобразование, при котором параметр процесса задается не временем протекания, а непосредственно числом электрических импульсов.



1-4 - входные датчики неэлектрических воздействий (акцепторы); 5-8 - преобразователи неэлектрических величин в аналоговые электрические сигналы; 9 - датчик абсолютного давления (MAP); 10 - АЦП; 11 - интегральная схема микропроцессора; 12 - оперативная "N", 43 - постоянная "P" память ЭУ; 14, 15 - коммутаторы; 16, 17 - двухвыводные катушки зажигания; 18 - свечи зажигания

Рис. 12 - Структурная схема микропроцессорной системы зажигания

Функции электронного вычислителя здесь выполняет число-импульсный микропроцессор, который работает от электрических импульсов, стабилизированных по амплитуде и длительности (от цифровых сигналов). Поэтому между микропроцессором и входными датчиками в ЭБУ МСЗ устанавливаются число-импульсные преобразователи аналоговых сигналов в цифровые (ЧИПы).

В отличие от электронной, микропроцессорная система зажигания работает по заранее заданной для данного двигателя внутреннего сгорания **программе управления**. В вычислителе микропроцессорной системы зажигания имеется электронная память (постоянная и оперативная). Программа управления для конкретной конструкции двигателя определяется экспериментально, в процессе его разработки. На испытательном стенде имитируются все возможные режимы двигателя при всех возможных условиях его работы.

Для каждой экспериментальной точки подбирается и регистрируется оптимальный угол опережения зажигания. Получается набор многочисленных значений угла для момента зажигания, каждое из которых отвечает строго определенной совокупности сигналов от входных датчиков. Графическое изображение такого множества представляет собой трехмерную характеристику зажигания, которая в виде матрицы. Координаты трехмерной характеристики записываются в постоянную память микропроцессора и в дальнейшем служат опорной информацией для определения угла опережения зажигания в реальных условиях эксплуатации двигателя на автомобиле. Изменение опорного (взятого из памяти) угла  $\Theta$  опережения зажигания осуществляется автоматически. **Увеличение угла  $\Theta$  происходит при повышении оборотов, при уменьшении нагрузки и при понижении температуры ДВС.**

**Уменьшение угла  $\Theta$  имеет место при увеличении нагрузки, при падении оборотов и при повышении температуры ДВС.** Если в МСЗ помимо основных датчиков используются дополнительные (например, датчик детонации в цилиндрах ДВС), то в микропроцессоре осуществляется коррекция опорного значения угла опережения зажигания по сигналам этих датчиков. При этом корректировка производится по каждому цилиндру в отдельности. Электронные блоки управления для ЭСЗ и МСЗ, помимо функциональных и схемотехнических, имеют и принципиальные конструктивные различия.

В ЭСЗ блок управления является самостоятельным конструктивным узлом и называется **контроллером**. На входы контроллера подаются сигналы от входных датчиков системы зажигания, а по выходу - контроллер работает на электронный коммутатор выходного каскада.

Все электронные схемы контроллера низкоуровневые (потенциальные), что позволяет включать их в состав других бортовых электронных блоков управления (например, в ЭБУ системы впрыска топлива).

В МСЗ все функции управления интегрированы в центральный бортовой компьютер автомобиля и персональный блок управления для системы зажигания может отсутствовать. Функции входных датчиков МСЗ выполняют универсальные датчики комплексной системы автоматического управления двигателем. Основной сигнал зажигания подается на электронный коммутатор выходного каскада **МСЗ** непосредственно от центрального бортового компьютера.

Несмотря на значительные различия электронных и микропроцессорных систем зажигания, по устройствам управления выходные каскады этих систем имеют **идентичное схемотехническое и конструктивное исполнение**, при котором каждая свеча зажигания на многоцилиндровом ДВС получает энергию для искрообразования по отдельному каналу. Такое распределение называется **статическим или многоканальным**.

Надо отметить, что кроме обычных недостатков механического

переключателя (низкая надежность и малая наработка на отказ вращающихся и трущихся частей) классический распределитель зажигания имеет и тот недостаток, что в нем реализуется коммутация высоковольтной энергии через электрическую искру. Это, помимо дополнительных потерь энергии, приводит к неравномерному выгоранию контактов в изоляционной крышке распределителя и, как следствие, к явлению разброса искр по цилиндрам и к низкой функциональной надежности системы зажигания. Разброс искр между выводами даже исправного механического распределителя может достигать 2...3 угловых градусов по повороту коленчатого вала ДВС.

В электронных и особенно в микропроцессорных системах зажигания, высоконадежных и высокоточных в функциональном отношении, формирование момента зажигания в которых реализуется с точностью 0,3...0,5° для каждого цилиндра в отдельности, применение высоковольтного механического распределителя совершенно недопустимо. Здесь приемлемы электронные способы переключения каналов на низкопотенциальном уровне непосредственно в электронном блоке управления с дальнейшим статическим разделением каналов по высокому напряжению на многовыводных или индивидуальных катушках зажигания. Это неизбежно приводит к многоканальности выходного каскада системы зажигания.

Реализация многоканального распределения энергии может быть осуществлена в системах зажигания несколькими способами. Наиболее простой из них - применение двухвыводного высоковольтного выходного трансформатора или двухвыводной катушки зажигания в выходном каскаде. Такой способ разделения каналов приемлем для реализации в системе зажигания с любым типом накопителя.

Известно, что в системе зажигания, на выходе которой установлен высоковольтный распределитель, во время разряда накопителя имеют место две искры: одна основная (рабочая) в свече зажигания и другая вспомогательная - между бегунком распределителя и контактом одного из его свечных выводов.

Вторичная обмотка выходного трансформатора (катушки зажигания) высоковольтным выводом соединена с центральным бегунком распределителя, а другой вывод обмотки является нулевым, так как во время разряда накопителя соединяется с "массой" автомобиля. Энергия вспомогательной искры в распределителе тратится бесполезно, и эту искру стремятся всячески подавить. Отсюда ясно, что вспомогательную искру из-под крышки распределителя можно перенести во вторую свечу зажигания, соединив ее с первой через «массу» головки блока цилиндров по-следовательно. Для этого достаточно исключить распределитель из выходного каскада, отсоединить от «массы» автомобиля заземляемый вывод катушки зажигания и подключить к нему вторую электроискровую свечу (рис. 13).

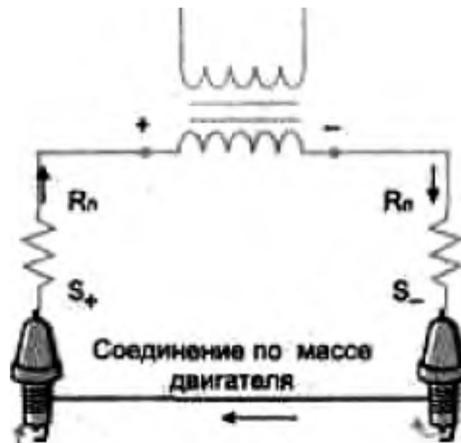


Рис. 13 - Соединение свечей зажигания с двухвыводной катушкой

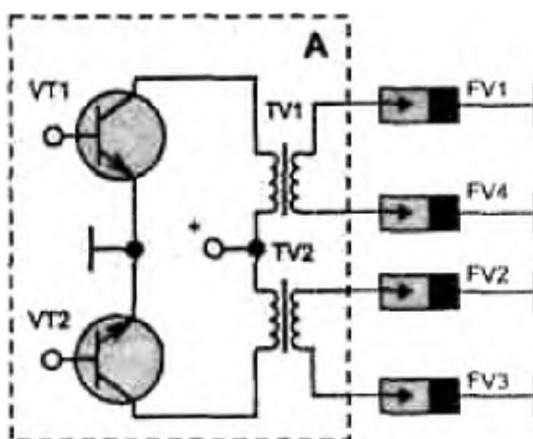
При одновременном искрообразовании в двух свечах зажигания одна искра является высоковольтной (12...20 кВ) и воспламеняет топливовоздушную смесь в конце такта сжатия (рабочая искра). При этом другая искра низковольтная (5...7 кВ), холостая.

Явление перераспределения высокого напряжения от общей вторичной обмотки между искровыми промежутками в двух свечах зажигания есть следствие глубоких различий условий, при которых происходит искрообразование.

В конце такта сжатия незадолго до появления рабочей искры температура топливовоздушного заряда еще недостаточно высокая (200...300°C), а давление, наоборот - значительное (1... 1,2 МПа). В таких условиях пробивное напряжение между электродами свечи - максимально. В конце такта выпуска, когда имеет место искрообразование в среде отработавших газов, пробивное напряжение минимально, так как температура выхлопных газов высокая (800...1000°C), а давление низкое (0,2...0,3 МПа).

Таким образом, при статическом распределении высокого напряжения с помощью двухвыводной катушки зажигания (на двух последовательно соединенных свечах - одновременно) почти вся энергия высоковольтного электроискрового разряда приходится на рабочую искру.

Если в ДВС четыре цилиндра, потребуются две двухвыводные катушки зажигания и два отдельных энергетических канала коммутации в выходном каскаде. На рис.14 показана схема выходного каскада системы зажигания для 4- цилиндрового ДВС.



А - выходной каскад двухканального коммутатора; УТ1, УТ2 - транзисторы коммутатора; ТV1, ТV2 - катушки зажигания; FV1-FV4 - искровые свечи

Рис. 14 - Схема низковольтного распределения импульсов высокого напряжения с двумя двухвыводными катушками

Чтобы чередование воспламенений топливовоздушной смеси в цилиндрах соответствовало порядку работы двигателя (1243 или 1342), первая свеча сгруппирована с четвертой, а вторая - с третьей. При таком соединении свечей «рабочие» искры возникают в цилиндрах в конце такта сжатия, а «холостые» искры - в конце такта выпуска.

В настоящее время разработан ряд автомобильных систем зажигания, в которых две двухвыводные катушки зажигания собираются на общем Ш-образном магнитопроводе и тем самым образуется одна 4-выводная катушка зажигания. Такая катушка имеет две первичные и две вторичные обмотки и управляется от двухканального коммутатора. Четырехвыводная катушка зажигания может иметь и одну вторичную двухвыводную обмотку при двух первичных. Вторичная обмотка такой катушки дооборудована четырьмя высоковольтными диодами - по два на каждый высоковольтный вывод.

Недостатком любой системы зажигания с двухвыводными катушками является то, что в одной свече искра развивается от центрального электрода к массовому (боковому), а во второй свече - в обратном направлении (рис.13). Так как центральный электрод заострен и всегда значительно горячее бокового, то истечение носителей заряда с его острия при искрообразовании требует затраты меньшего количества энергии, чем при истечении с бокового электрода (на центральном электроде начинает проявляться термоэлектронная эмиссия). Это приводит к тому, что пробивное напряжение на свече, работающей в прямом направлении, становится несколько ниже (на 1,5...2 кВ), чем на свече с обратным включением полярности. Для современных электронных и микропроцессорных систем зажигания с большим коэффициентом запаса по вторичному напряжению и с управляемым временем накопления энергии это не имеет принципиального значения.

### **Выходные каскады с индивидуальным статическим распределением**

В современных электронных и микропроцессорных системах зажигания широко используются выходные каскады с индивидуальными катушками зажигания для каждой свечи в отдельности. Примером может служить система зажигания фирмы BOSCH, интегрированная в электронную систему ав-томатического управления (ЭСАУ) двигателем, которая известна под названием Motronic.

Основные преимущества системы зажигания, интегрированной в ЭСАУ Motronic, состоят в следующем:

- индивидуальное статическое распределение высокого напряжения по свечам зажигания;
- катушки зажигания с заземленной вторичной обмоткой.

Известны попытки применить в многоканальном выходном каскаде автомобильной системы зажигания высоковольтный трансформатор с насыщающимися сердечниками.

Если магнитопровод трансформатора ввести в режим насыщения, то его коэффициент трансформации резко падает и энергия из первичной обмотки во вторичную не трансформируется. Система зажигания с трансформатором насыщения обладает высокой надежностью, малыми габаритами и весом, но ее промышленный выпуск пока не реализован из-за значительных технических трудностей изготовления (для трансформатора насыщения требуются тороидальные сердечники из высококачественного пермалоя. Намотка многовитковых обмоток на такие сердечники крайне затруднена).

## ЛЕКЦИЯ 6 3.2 Подсистемы системы управления двигателем

### 3.2.3 Системы впрыскивания бензина

#### Краткие сведения про системы впрыска и их эволюцию

Первые системы впрыска бензина появились на авиационных моторах еще в 30-х годах. Затем они нашли применение на гоночных автомобилях. А в 1954 г. Mercedes-Benz представил первый серийный автомобиль, двигатель которого был оснащен механической системой впрыска. Это было купе 300 SL. В США пионером оказался концерн «Дженерал Моторс»(GM). В 1957 году некоторые модели Chevrolet и Pontiac предлагались с системой впрыска топлива фирмы Rochester. Но она оказалась слишком сложной и ненадежной, и поэтому спросом у покупателей не пользовалась. Одновременно там же была разработана первая система впрыска с электронным управлением и даже попытка выпускать с ней автомобили. Но высокая стоимость оказалась непреодолимым препятствием. Началом распространения электронных систем впрыска можно считать 1967 год. Это связано с появлением на рынке новинки от фирмы Bosch - системы с электронным управлением **D-Jetronic**.

Эволюция систем впрыска

#### 1967 D-Jetronic

Первая система впрыска топлива с электронным управлением. Электронасос подает топливо под постоянным давлением 2 бар (0,2 МПа) к электромагнитным форсункам, которые периодически (циклически) впрыскивают топливо во впускные трубопроводы, где оно и смешивается с воздухом. Поскольку давление топлива постоянно, его количество определяется длительностью открытого состояния форсунки. Электронный блок управления (БУ), выполненный на 25 транзисторах, определяет длительность управляющего импульса в зависимости от температурного режима, частоты вращения и нагрузки двигателя. Информация о нагрузке содержится в сигнале датчика разрежения во впускном коллекторе. Название **Jetronic** фирма Бош использует для систем, управляющих только топливоподачей.

#### 1973: K-Jetronic

Топливо, подаваемое электронасосом, проходит через регулятор-распределитель к форсункам, непрерывно впрыскивающим в трубопроводы. Плунжер регулятора, изменяющий сечение потока топлива, связан через рычаг с пластиной, расположенной перпендикулярно потоку воздуха во впускном тракте перед дроссельной заслонкой. Изменение расхода воздуха вызывает перемещение плунжера регулятора и, соответственно, изменение подачи топлива. Позднее, в соответствии с изменившимися экологическими требованиями, эта система была дополнена вспомогательным БУ, лямбда-зондом, электроклапаном и некоторыми другими узлами.

#### 1973: L-Jetronic

Электронная система впрыска с непосредственным измерением расхода воздуха и электромагнитными форсунками. Топливо от электронасо-

са подается к форсункам по магистрали, в которой установлен регулятор давления, поддерживающий постоянную разницу между давлением топлива и воздуха во впускном коллекторе, что позволяет более точно дозировать топливо. Датчик расхода воздуха содержит поворотную заслонку, соединенную с возвратной пружиной и потенциометром. В датчик расхода воздуха встроен датчик температуры для учета зависимости плотности воздуха от его температуры. Для упрощения все форсунки электрически соединены параллельно и осуществляют впрыск один раз при каждом обороте коленчатого вала. Для некоторых рынков выпускались специальные модификации, различавшиеся деталями: **LE-Jetronic для Европы** и **LU-Jetronic для США**.

#### **1976: Начало производства лямбда-зонда.**

#### **1979: Motronic**

Название Motronic фирма Бош применяет к системам, одновременно управляющим топливоподачей и зажиганием от одного БУ в соответствии с общими критериями оптимизации. Система выполнена на основе L-Jetronic.

#### **1981: LH-Jetronic**

Создана на основе L-Jetronic и отличается применением датчика массового расхода воздуха. Поступающий в двигатель воздух обдувает подогреваемую проволочку, которая является частью электрического измерительного моста. Сигнал с датчика вместе с частотой вращения двигателя являются основными задающими величинами для работы системы. Датчик температуры, встроенный в измеритель массы воздуха, обеспечивает независимость выходного сигнала от температуры воздуха.

#### **1982: KE-Jetronic**

Дальнейшее развитие K-Jetronic. Отличается конструкцией регулятора-распределителя, в который дополнительно встроен электрогидравлический регулятор, управляемый микропроцессорным БУ. Кроме того, датчик расхода воздуха соединен не только с плунжером, как и в K-Jetronic, но и с потенциометром, сигнал с которого поступает в БУ.

#### **1986: Mono-Jetronic**

Система центрального (или одноточечного) впрыска с электронным управлением содержит только одну электромагнитную форсунку, которая установлена перед дроссельной заслонкой. Топливовоздушная смесь поступает в цилиндры двигателя так же, как и при применении карбюратора. По точности топливоподачи занимает промежуточное положение между карбюратором и распределенным впрыском.

#### **1989: Motronic MP3**

В качестве датчика нагрузки двигателя используется датчик разрежения во впускном коллекторе.

#### **1989: Motronic M3**

Отличается от Motronic MP3 определением нагрузки двигателя по датчику массового расхода воздуха и применением в блоке управления 16-разрядного микропроцессора вместо 8-разрядного.

**1991** В Блок управления добавлен интерфейс для информационного обмена с другими микропроцессорными системами управления (противобуксовочная система, автоматическая коробка передач и т.д.) через высокоскоростной канал CAN.

### ***Классификация систем впрыскивания топлива***

Применение систем впрыскивания топлива взамен традиционных карбюраторов обеспечивает повышение топливной экономичности и снижение токсичности отработавших газов. Они позволяют в большей степени по сравнению с карбюраторами с электронным управлением оптимизировать процесс смесеобразования. Однако следует отметить, что системы впрыскивания топлива сложнее систем топливоподачи с использованием карбюраторов из-за большего числа подвижных прецизионных механических элементов и электронных устройств и требуют более квалифицированного обслуживания в эксплуатации.

По мере развития систем впрыскивания топлива на автомобили устанавливались механические, электронные и цифровые системы. К настоящему времени структурные схемы систем впрыскивания топлива в основном стабилизировались. Классификация способов впрыскивания топлива показана на рис. 1.

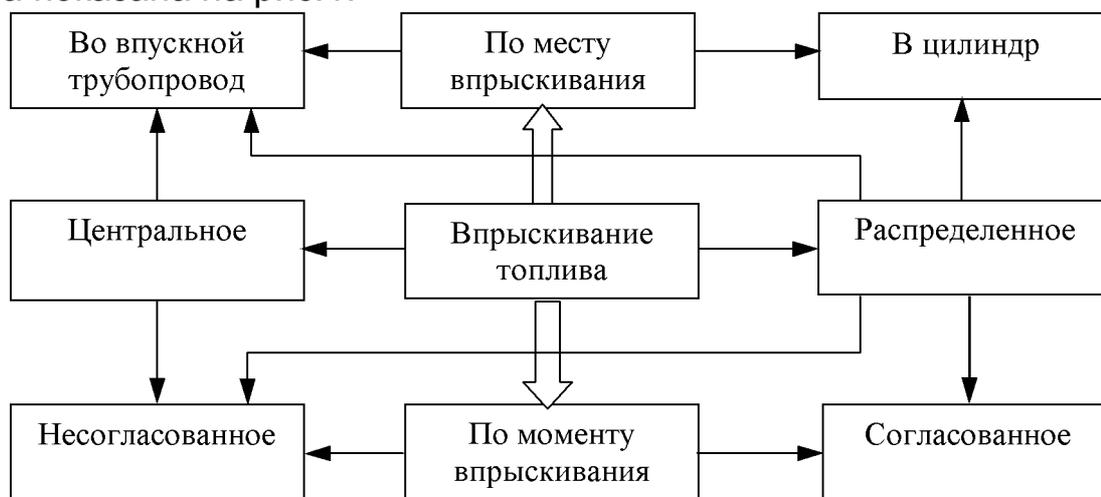


Рис.1 - Классификация способов впрыскивания топлива

При распределенном впрыскивании топливо подается в зону впускных клапанов каждого цилиндра группами форсунок без согласования момента впрыскивания с процессами впуска в каждый цилиндр (несоглазованное впрыскивание) или каждой форсункой в определенный момент времени, согласованный с открытием соответствующих впускных клапанов цилиндров (согласованное впрыскивание). Системы распределенного впрыскивания топлива позволяют повысить приемистость автомобиля, надежность пуска, ускорить прогрев и увеличить мощность двигателя.

При распределенном впрыскивании топлива появляется возможность применения газодинамического наддува, расширяются возможности в

создании различных конструкций впускного трубопровода. Однако у таких систем по сравнению с центральным впрыскиванием больше погрешность дозирования топлива из-за малых цикловых подач.

Идентичность составов горючей смеси по цилиндрам в большей степени зависит от неравномерности дозирования топлива форсунками, чем от конструкции впускной системы. При центральном впрыскивании топливо подается одной форсункой, устанавливаемой на участке до разветвления впускного трубопровода. Существенных изменений в конструкции двигателя нет. Система центрального впрыскивания практически взаимозаменяема с карбюратором и может применяться на уже эксплуатируемых двигателях. При центральном впрыскивании обеспечивается большая точность и стабильность дозирования топлива.

Структурная схема системы впрыскивания топлива с программным управлением приведена на рис.2. Особенно эффективна в отношении повышения топливной экономичности система распределенного впрыскивания топлива в сочетании с цифровой системой зажигания.



Рис. 2 - Структурная схема системы впрыскивания топлива с программным управлением

В мировой практике разработкой электронных систем впрыска топлива занимаются многие фирмы, однако наиболее известны в Европе: BOSCH, Siemens, поэтому чаще всего используют их обозначение систем. Общепринятым международным обозначением электронных систем впрыска является Jetronic. В настоящее время в массовом производстве преобладает система под названием LH-Jetronic, которая является системой распределенного впрыска топлива во впускной трубопровод. Применяется как синхронный и асинхронный впрыск топлива. Главной чертой этой системы является термоанемометрический расходомер воздуха, взамен расходомера на основе потенциометра с заслонкой.

### **3.2.4 Микропроцессорные системы управления бензиновым двигателем**

Сейчас практически отказались производители от отдельных электронных систем впрыска и производят электронные системы управления двигателем (МСУД), объединяющие управление впрыском топлива и зажиганием бензинового двигателя. Такие системы обозначаются **Motronic**. На современном этапе производятся три типа систем:

- **M-Motronic** - микропроцессорная система управления зажиганием и распределенным впрыском топлива;
- **ME-Motronic** - микропроцессорная система управления зажиганием и распределенным, последовательным впрыском топлива, с  $\lambda$ -регулируемостью и электронным дросселем (система ETC);
- **MED-Motronic**- микропроцессорная система управления зажиганием и непосредственным впрыском топлива в цилиндры (**Direct injection, DI**).

#### **3.2.4.1 Компонентный состав микропроцессорных систем управления двигателем (МСУД)**

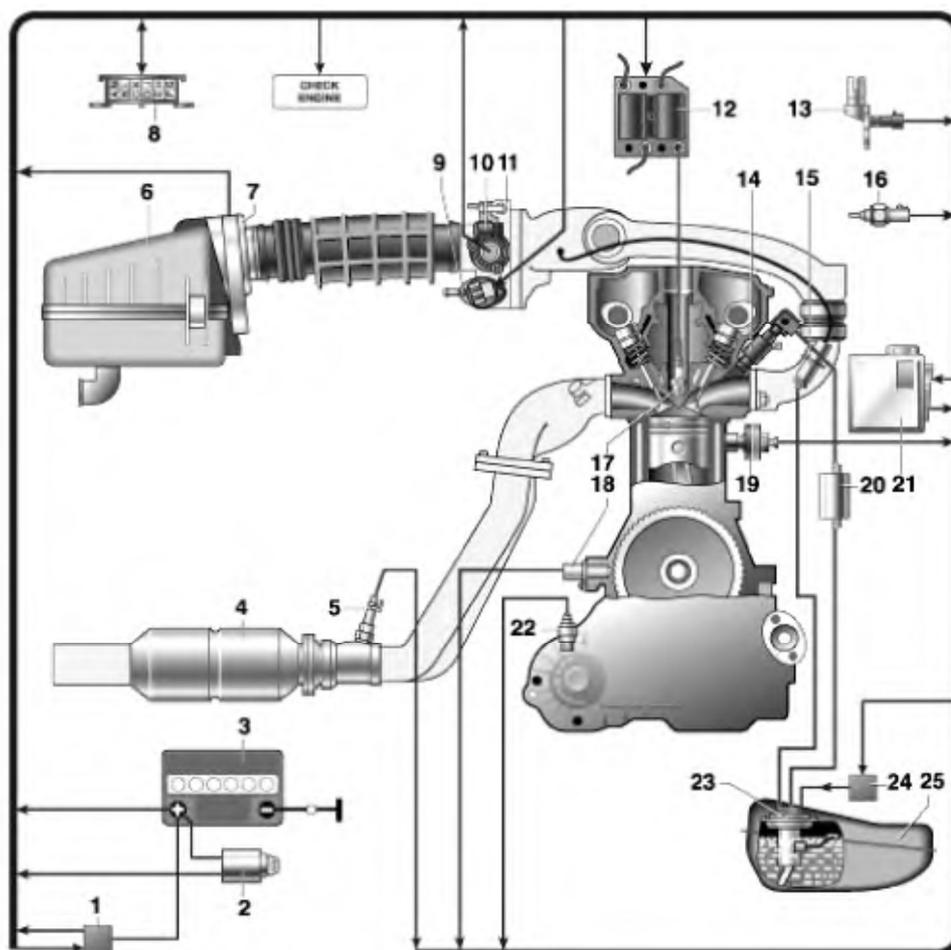
Автомобили ВАЗ, ГАЗ оснащают системами класса **M-Motronic**, схема представлена на рис.3.

Рассмотрим компонентный состав микропроцессорных систем управления двигателем (МСУД) "МИКАС" автомобилей ГАЗ.

В состав системы входят: комплект датчиков (входная периферия), электронный блок управления (ЭБУ), набор исполнительных устройств (выходная периферия) и жгут проводов с соединителями (выполняет функции простейшего интерфейса). В системе могут применяться комплектующие изделия как отечественного производства, так и фирмы BOSCH.

На основе полученной от входных датчиков информации и в соответствии с заложенной в ЗУ программой ЭБУ управляет следующими подсистемами и устройствами:

- подсистемой топливоподачи (электробензонасосом (ЭБН) через реле);
- электромагнитными форсунками;
- свечами зажигания (через модуль зажигания);
- подсистемой стабилизации оборотов на холостом ходу (регулятором дополнительного воздуха, РДВ (регулятор холостого хода, РХХ));
- подсистемой диагностики (диагностический разъем и лампа «check engine»). В системе МИКАС применяются семь датчиков, которые в совокупности образуют входную периферию.



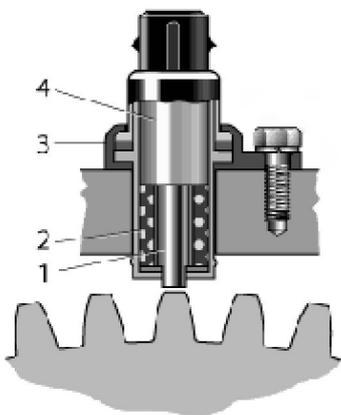
1 - реле зажигания; 2 - центральный переключатель; 3 - аккумуляторная батарея; 4 -нейтрализатор ОГ; 5 - датчик кислорода; 6 - воздушный фильтр; 7 - датчик массового расхода воздуха; 8 - диагностический разъем; 9 - регулятор холостого хода; 10 – датчик положения дроссельной заслонки; 11 - дроссельный патрубок; 12 - модуль зажигания; 13 -датчик фаз; 14 - топливная форсунка; 15 - регулятор давления топлива; 16 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 17 - свеча зажигания; 18 - датчик положения коленчатого вала; 19 - датчик детонации; 20 - топливный фильтр; 21 – контроллер (ЭБУ, ECU); 22 - датчик скорости; 23 - топливный насос; 24 - реле включения топливного насоса; 25 - бензобак

Рис.3 - Схема микропроцессорной системы управления двигателем МСУД с последовательным впрыском топлива ВАЗ, ГАЗ

**Датчик температуры воздуха (ДТВ)** во впускном трубопроводе и **датчик температуры охлаждающей жидкости (ДТОЖ)** являются интегральными датчиками. Они представляют собой термочувствительные полупроводниковые элементы на одном кристалле с периферийными электронными микросхемами. **ДТВ** установлен в канале впускной трубы 4-го цилиндра, а **ДТОЖ** - на корпусе термостата. **Выходным сигналом** в каждом из датчиков является **падение напряжения** на

полупроводниковом элементе, которое зависит от измеряемой температуры. По этим сигналам ЭБУ корректирует характеристики топливоподачи и угла опережения зажигания. При возникновении неисправностей в датчиках или в их цепях в комбинации приборов загорается контрольная лампа.

**Датчик положения коленчатого вала (ДКВ)** индукционного типа, рис.4.



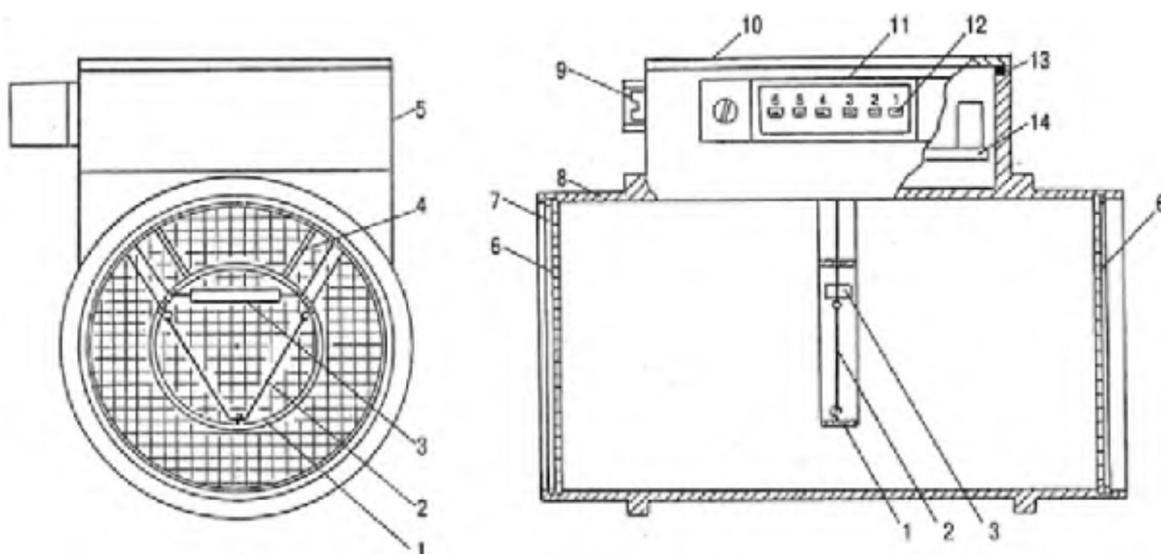
**1- сердечник; 2 - обмотка; 3 - кронштейн крепления; 4 - постоянный магнит**

Рис.4 - Датчик положения коленчатого вала

Датчик положения коленчатого вала предназначен для определения частоты вращения двигателя, а также для синхронизации впрыска топлива форсунками и момента зажигания с рабочими процессами двигателя. ДКВ установлен в передней части двигателя с правой стороны напротив зубчатого диска синхронизации. Диск синхронизации закреплен на шкиве коленчатого вала и представляет собой зубчатое колесо с зубьями. Для синхронизации два зуба отсутствуют. **Номер зуба** на диске отсчитывается от места пропуска двух зубьев (**от впадины**) против часовой стрелки. При совмещении середины первого зуба диска синхронизации с осью датчика коленчатый вал двигателя находится в положении  $120^\circ$  (20 зубьев) до верхней мертвой точки 1-го и 4-го цилиндров.

При вращении коленчатого вала (следовательно, диска синхронизации) в обмотке датчика наводятся импульсы напряжения переменного тока. По количеству и частоте следования этих импульсов в ЭБУ определяется положение и частота вращения коленчатого вала, по которым рассчитывается момент срабатывания форсунок и катушек зажигания.

**Датчик массового расхода воздуха (ДМРВ)** термоанемометрического типа (массметр) установлен во впускном тракте после воздушного фильтра и служит для определения количества массы воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, рис.5.



1 - кольца; 2 - платиновая нить; 3 - термокомпенсационное сопротивление; 4 - кронштейн крепления кольца; 5 - корпус электронного модуля; 6 - предохранительная сетка; 7 - стопорное кольцо, 8 - корпус датчика, 9 - винт регулировки СО, 10 - крышка, 11 - колодка электрического разъема, 12 - штекер, 13 - уплотнитель, 14 - электронный модуль

Рис.5 - Датчик массового расхода воздуха

Чувствительным элементом датчика является платиновая нить, которая во время работы двигателя разогревается до температуры  $150^{\circ}\text{C}$ . Воздух, всасываемый в цилиндры двигателя, охлаждает нить, а электронная схема датчика поддерживает температуру нити постоянной ( $150^{\circ}\text{C}$ ). На поддержание температуры платиновой нити на прежнем уровне затрачивается определенная электрическая мощность, которая является параметром для определения массового расхода воздуха.

В состав ДМРВ включен термокомпенсационный резистор, с помощью которого учитывается влияние температуры проходящего воздуха на степень охлаждения платиновой нити. **Выходной сигнал** ДМРВ представляет собой **напряжение постоянного тока**, величина которого зависит от количества воздуха, проходящего через датчик. Сигналы датчика поступают в ЭБУ, где используются для определения длительности впрыска топлива форсунками.

Для очистки платиновой нити датчика от загрязнений периодически (после каждой остановки ДВС) на нить кратковременно подается повышенное напряжение, вызывающее нагрев до  $1000^{\circ}\text{C}$ . При этом все отложения на нити сгорают.

При выходе из строя датчика или его электрических цепей система управления переходит на резервный режим работы. В этом случае ЭБУ заменяет сигнал ДМРВ сигналом от схемы электронного резервирования (СЭР), значение которого рассчитывается по частоте вращения коленчатого вала и сигналу датчика положения дроссельной заслонки.

Ряд зарубежных производителей, в основном фирмы США, применяют ДМРВ иного типа - датчики Кармана, рис.6. Датчики Кармана

относятся к вихревым расходомерам воздуха. Если узкий стержень (рассекатель) разместить поперек равномерного воздушного потока, то за стержнем начнут образовываться завихрения. Принцип работы датчика Кармана основан на измерении частоты вращения вихревых потоков, которые образуются за поперечным стержнем в потоке всасываемого воздуха.

По частоте определяют скорость потока, затем по известному поперечному сечению входного канала датчика - объем воздуха. Частоту генерации вихрей определяют ультразвуковым методом или по вариациям давления.

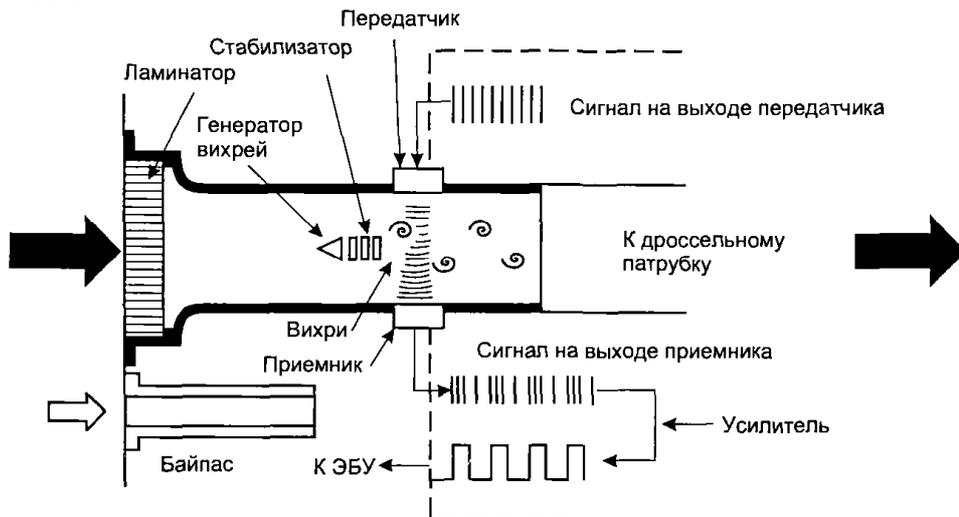
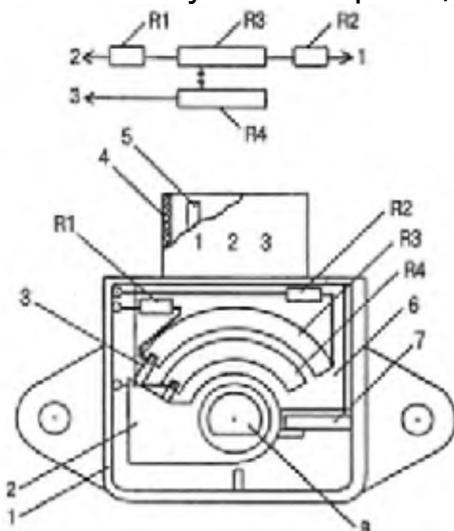


Рис.6 - Ультразвуковой датчик Кармана

В ультразвуковых датчиках частоту генерации вихрей определяют по доплеровскому сдвигу частоты ультразвуковой волны (обычно 50 кГц) при ее рассеянии движущейся средой (потоком воздуха).

### Датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ)

потенциметрического типа, подвижная часть которого соединена с осью дроссельной заслонки. Выходным сигналом ДПДЗ является падение напряжения на переменном резисторе датчика, которое изменяется в зависимости от угла поворота дроссельной заслонки, рис 7.



1 - корпус; 2 - поворотная втулка; 3 - подвижной контакт; 4 -

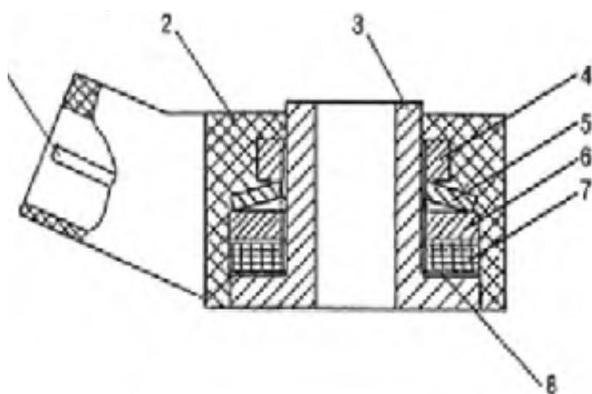
штекерная колодка; 5 - штекер; 6 - печатная плата; 7 - упор; 8 - ось дроссельной заслонки;  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$  и  $R4$  – сопротивления

Рис.7 - Датчик положения дроссельной заслонки

По сигналу датчика о положении дроссельной заслонки в ЭБУ корректируются длительность электрического импульса, подаваемого на форсунки, и значение угла опережения зажигания. ДПДЗ в системе управления выполняет также функцию идентификации отдельных режимов работы двигателя (холостой ход, частичная или полная нагрузка, разгон автомобиля).

При выходе из строя ДПДЗ или его электрических цепей система управления работает по резервной программе, заложенной в памяти ЭБУ, используя данные ДМРВ.

**Датчик детонации (ДД)** пьезоэлектрического типа установлен на блоке цилиндров двигателя с правой стороны. Чувствительным элементом ДД является кварцевый пьезоэлемент, который при работе двигателя воспринимает возникающую вибрацию через инерционную массу (шайбу) датчика, рис.8.



1 - штекер; 2 - изолятор; 3 - корпус; 4- гайка; 5 - упругая шайба; 6 - инерционная шайба; 7 - пьезоэлемент; 8 - контактная пластина

Рис.8 - Конструкция датчика детонации

В результате на его обкладках за счет пьезоэффекта появляется электрический сигнал в виде переменного напряжения. При детонационном сгорании топливовоздушной смеси в блоке цилиндров двигателя возникают звуковые колебания, что вызывает увеличение амплитуды напряжения электрического сигнала датчика. По этому сигналу ЭБУ корректирует угол опережения зажигания до прекращения детонации. В случае выхода из строя датчика или наличия неисправности в его электрических цепях изменение угла опережения зажигания оптимизируется.

**Датчик положения распределительного вала (фазы) (ДРВ)** предназначен для определения момента нахождения поршня 1-го цилиндра в верхней мертвой точке при такте сжатия. Он выполняет функции датчика начала отсчета и установлен в задней части головки блока цилиндров с левой стороны. Принцип работы ДРВ основан на

эффекте Холла. При прохождении мимо торца ДРВ металлической пластины (отметчика датчика), закрепленной на распределительном валу выпускных клапанов, формируется электроимпульсный сигнал, который после усиления подается в ЭБУ. ЭБУ обрабатывает этот сигнал и выдает команду на впрыск топлива форсункой 1-го цилиндра. Дальнейшая подача импульсов на форсунки осуществляется в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя 1-3-4-2. Если ДРВ или его электрические цепи неисправны, то ЭБУ переходит на резервный режим работы. При этом впрыск топлива осуществляется одновременно во все цилиндры двигателя, что существенно повышает расход бензина. О наличии неисправности датчика сигнализирует контрольная лампа в комбинации приборов.

На современном автомобиле проблемы нейтрализации токсичных веществ в выхлопных отработавших газах (ОГ) решаются с применением специальных газонейтрализаторов. Эти устройства более надежно работают совместно с системой впрыска бензина, которая оснащена **датчиком** (или двумя датчиками) **концентрации кислорода (ДКК)** в выпускном тракте двигателя.

Кислородный датчик вырабатывает сигнал обратной связи для электронного блока управления впрыском, который корректирует состав ТВ-смеси по коэффициенту избытка воздуха  $\alpha$  на входе системы. Корректировка реализуется изменением продолжительности впрыска бензина форсункой.

**Датчик кислорода для МСУД** может быть выполнен в **трех вариантах**:

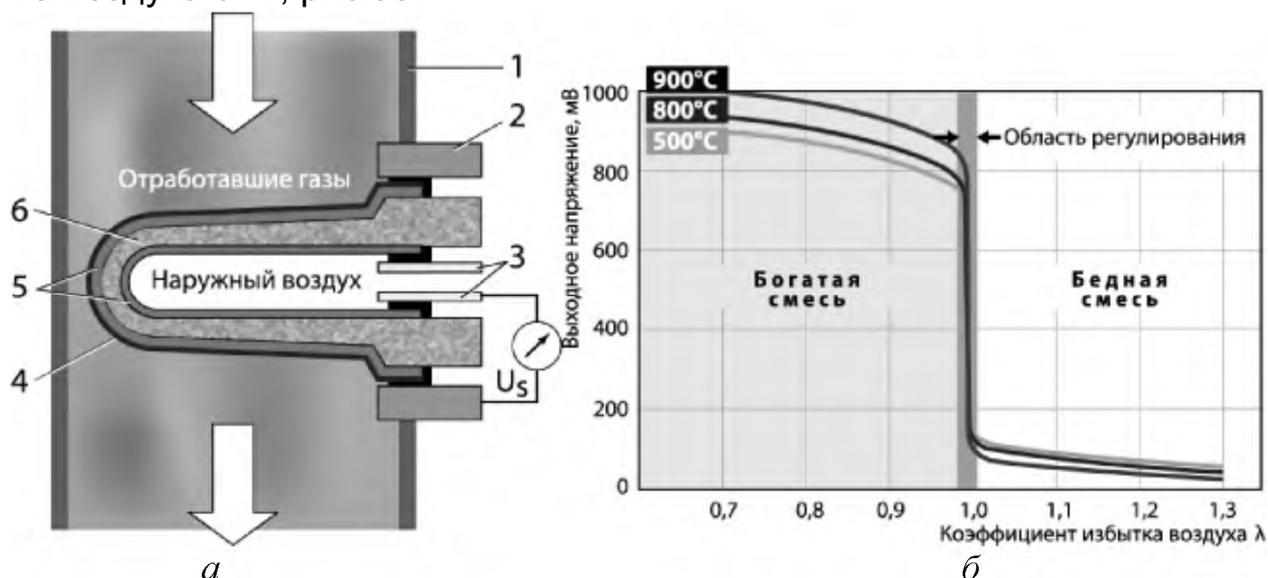
- как химический источник тока (**ХИТ**) с управляемой по концентрации кислорода электродвижущей силой;
- как хеморезистор, у которого величина электрического сопротивления зависит от парциального давления кислорода в омываемых датчик выхлопных отработавших газах;
- как термопара с термо-ЭДС, зависящей от концентрации кислорода.

В иностранной технической литературе кислородный датчик называется лямбда-зондом ( **$\lambda$ -зонд**).

Датчик кислорода как **ХИТ** состоит из двух платиновых электродов Р1 и твердого электролита из диоксида циркония  $ZrO_2$  и оксида иттрия  $Y_2O_3$  между ними. Диоксид циркония имеет пористую структуру и нанесенные с обеих сторон (в вакууме) на его поверхность тонкие пленки платины (электроды), тоже пористые, с микроскопическими отверстиями. По газовым потокам электроды разобщены так, что один из них находится во внешней окружающей атмосферной среде, а другой - омывается выходными отработавшими газами, рис.9а.

При коэффициенте  $\alpha > 1$  величина  $U_b < 0,1$  В. При  $\alpha < 1$   $U_b$  изменяет свою величину скачком до 0,95 В. Образовавшаяся ступенька имеет средний уровень 0,42...0,45 В, который соответствует коэффициенту

избытка воздуха  $\alpha=1$ , рис.9б.



**1 - труба выпускной системы; 2 - корпус датчика; 3 - контактные площадки; 4 - керамический защитный слой; 5 - внешний и внутренний электроды; 6 - керамическая основа ( $ZrO_2$  и  $Y_2O_3$ ).  $U_s$  - выходное напряжение**

Рис.9 - Схема циркониевого датчика кислорода (а), характеристика напряжения датчика от коэффициента избытка воздуха в рабочей смеси (б)

Таким образом, с помощью кислородного датчика можно легко зафиксировать момент, когда ТВ-смесь становится стехиометрической. Этим пользуются для создания так называемого окна экологической безопасности ( $0,98 < \alpha < 1,02$ ) при работе системы впрыска, когда выброс токсичных веществ с отработавшими газами становится минимальным.

**Кислородный датчик, как хеморезистор**, является пассивным преобразователем реостатного типа, в котором омическое сопротивление изменяется под воздействием изменения парциального давления кислорода в окружающей газовой среде. Резистивная часть датчика выполнена из окиси титана ( $TiO_2$ ), которая представляет собой кристаллическую полупроводниковую керамику с высокой поверхностной чувствительностью к свободному кислороду при высокой температуре.

**Кислородный датчик как термопара** с термоЭДС, зависящей от концентрации кислорода, является некоторой модификацией датчика с хеморезистором. Керамическая основа та же - окись титана  $TiO_2$ . Выводные контакты - платиновые. Но теперь используется не изменение сопротивления полупроводника, а его термоэлектрический контакт с металлом внешнего соединителя. Термопара становится активным термоэлементом с чувствительностью к концентрации кислорода. Такой датчик подогревается в потоке выхлопных отработавших газов, а его рабочая температура автоматически устанавливается электроподогревателем. При этом один электрод термопары (наружное

металлическое покрытие керамики) подвержен более сильному нагреву, что способствует повышению чувствительности датчика.

**Датчик скорости** представляет собой импульсный датчик на эффекте Холла, устанавливаемый на шестерню спидометра коробки передач. Он обеспечивает работу электронного спидометра, одометра, дает информацию о скорости ЭБУ МСУД. На выходе датчика при движении автомобиля появляются прямоугольные импульсы, нижний уровень которых должен быть не более 1 В, а верхний уровень - не менее 5 В. В соответствии с международными стандартами датчик вырабатывает 6000 прямоугольных импульсов за 1 км пути.

### **Электронный блок управления (ЭБУ)**

**ЭБУ** (в иностранной литературе ECU) является центральным звеном всей системы. Он получает аналоговую информацию от датчиков, обрабатывает ее с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и по заложенной в ЗУ программе реализует управление исполнительными устройствами. Блок-схема электронного блока управления приведена на рис.10.

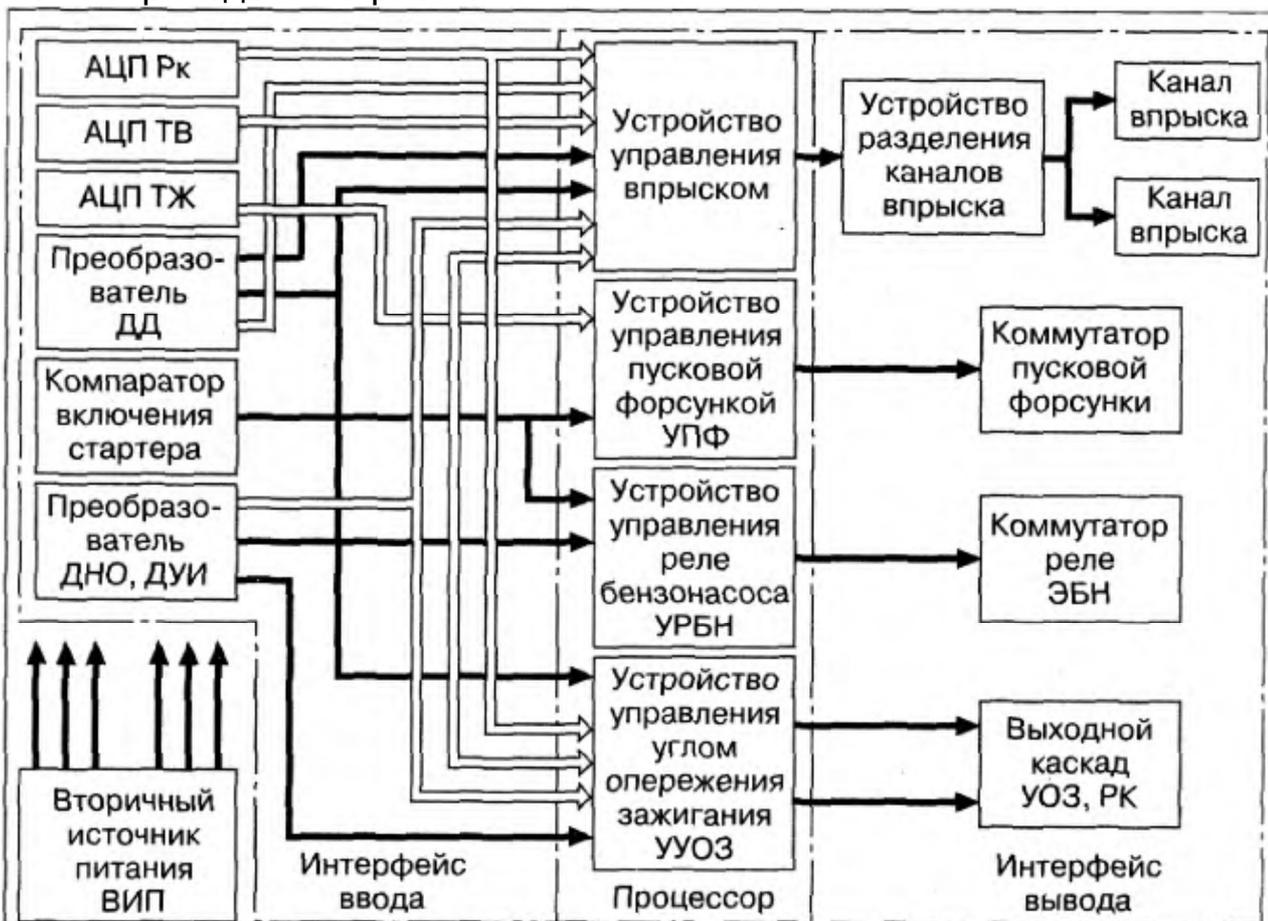


Рис.10 - Блок-схема электронного блока управления

На основании сигналов датчиков блок управления рассчитывает количество впрыскиваемого топлива для получения оптимального соотношения топлива и воздуха в горючей смеси. Количество впрыскиваемого топлива определяется временем открытия

электромагнитного клапана форсунки.

**ЭБУ** имеет три типа памяти: постоянное запоминающее устройство (ПЗУ или ROM), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ или RAM) и электрически перезаписываемое энергонезависимое запоминающее устройство (ЭПЗУ или EEPROM).

**ПЗУ** - энергонезависимая память, в которой "зашифрована" общая программа управления (алгоритмы) и исходная (базовая) информация. Эта информация представляет собой данные по продолжительности впрыска топлива форсунками, времени наполнения энергии в катушках зажигания и углу опережения зажигания при определенных режимах работы ДВС. Содержимое ПЗУ не может быть изменено после программирования. Эта память не нуждается в электропитании для сохранения в ней информации, т.е. не стирается при отключении аккумуляторной батареи от бортовой сети автомобиля.

**ОЗУ** - энергозависимая память, которая используется для временного хранения измеренных параметров, результатов расчетов и кодов неисправностей. Микропроцессор ЭБУ может по мере необходимости вносить в ОЗУ данные или считывать их. При прекращении подачи питания на ЭБУ содержащиеся в ОЗУ расчетные данные (в том числе и диагностические коды) стираются.

**ЭПЗУ** - память, в которую на заводе-изготовителе или станции технического обслуживания записывается информация паспортного характера, а также информация о параметрах начальной настройки системы. Эта память не требует питания для хранения в ней информации.

**В выходную периферию системы МИКАС входят пять исполнительных устройств.**

1 Электробензонасос роликового типа с приводом от электродвигателя постоянного тока предназначен для подачи бензина к форсункам под давлением. Бензонасос и его приводной электродвигатель размещаются в одном герметичном корпусе.

Прокачиваемый насосом бензин обеспечивает охлаждение электродвигателя и смазку трущихся поверхностей. В насосе имеются два клапана. Предохранительный клапан защищает топливную систему от чрезмерного повышения давления (свыше 0,4 МПа), а обратный клапан препятствует сливу топлива из бензомагистрали в бак после остановки насоса, что предотвращает образование паровых и воздушных пробок. Электробензонасос подключен к бортовой сети автомобиля через электромагнитное реле. Если в течение 3..5 с после включения зажигания прокручивание коленчатого вала двигателя не начинается, ЭБУ отключает реле электробензонасоса. Дальнейшее включение бензонасоса произойдет при пуске двигателя стартером. Электрическая цепь электробензонасоса защищена плавким предохранителем.

2 Топливные форсунки представляют собой электромагнитные устройства и служат для впрыска под давлением рассчитанного в ЭБУ

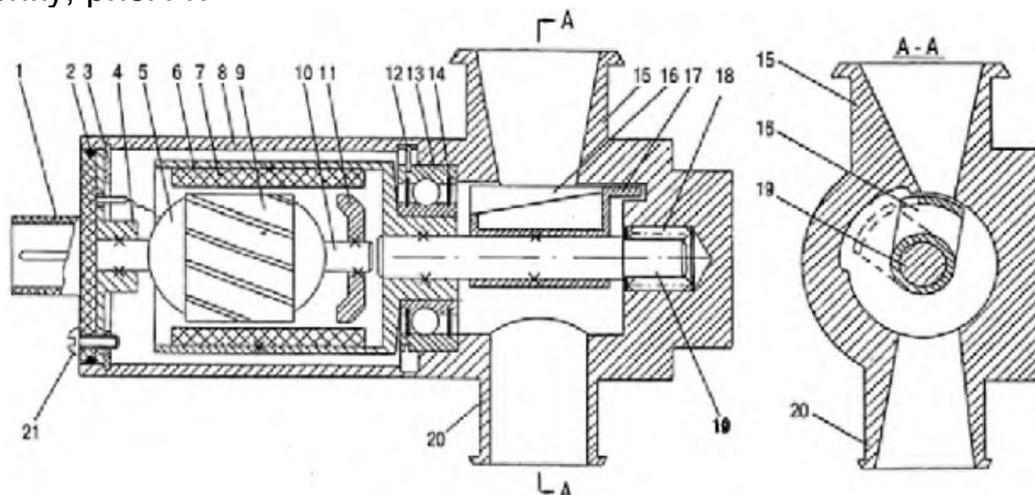
количества топлива на впускные клапаны двигателя.

Количество топлива, впрыскиваемого форсункой, зависит от длительности электрического импульса, подаваемого в обмотку электромагнитного клапана форсунки от ЭБУ.

3 Катушки зажигания - двухвыводные, с замкнутым магнитопроводом, «сухие», реализуют статический (низковольтный) способ распределения импульсов высокого напряжения по свечам в цилиндрах двигателя. На автомобилях ВАЗ применяют модули зажигания - интеграция катушек и электронного коммутатора.

4 Свечи зажигания имеют встроенный помехоподавительный резистор.

5 Регулятор дополнительного воздуха или регулятор холостого хода поддерживает неизменной заданную частоту вращения в режиме холостого хода двигателя при его пуске, прогреве, движении «накатом» и изменении нагрузки, вызванной включением вспомогательного оборудования. Регулятор установлен на ресивере впускного трубопровода и представляет собой золотниковый клапан, который регулирует подачу воздуха во впускную систему минуя дроссельную заслонку, рис.11.



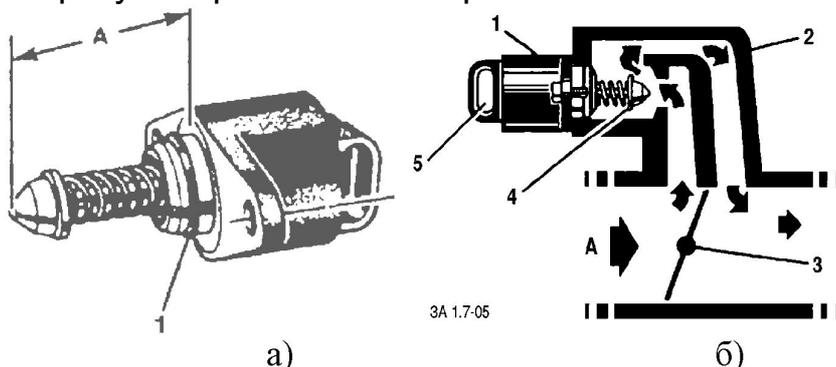
1 - штекерная колодка; 2 - уплотнительное кольцо; 3 - шайба крепления; 4 - фланец крепления оси якоря; 5 - обмотка якоря; 6 - поворотный стакан; 7 - магнит; 8 - корпус; 9 - якорь неподвижный; 10 - ось якоря; 11 - магнитопровод; 12 - стопорное кольцо подшипника; 13 - шариковый подшипник; 14 - уплотнение подшипника; 15 - патрубок входной; 16 поворотная заслонка; 17-упор; 18 -роликовый подшипник; 19 - вал заслонки; 20 - патрубок выходной; X- соединение неразъемное

Рис.11 - Регулятор дополнительного воздуха ГАЗ

Основным элементом регулятора является двухобмоточный электродвигатель с неподвижным якорем и вращающимся постоянным магнитом. ЭБУ подает на обмотки неподвижного якоря электрические сигналы частотой 100 Гц.

Электрический ток, проходя по обмоткам, возбуждает магнитное

поле, которое взаимодействует с потоком постоянного магнита. В результате постоянный магнит занимает определенное угловое положение, а вместе с ним и заслонка, которая изменяет проходное сечение регулятора. АвтоВАЗ применяет РХХ иного исполнения, рис.12а.



**1 - шаговый двигатель регулятора холостого хода; 2 - дроссельный патрубок; 3-дроссельная заслонка; 4 - запорная игла клапана РХХ; 5 - электрический разъем; А -поступающий воздух**

Рис.12 - Общий вид РХХ (а) и схема регулировки подачи воздуха (б)

Здесь шаговый двигатель управляет иглой, которая определяет сечение канала, следовательно, и расход воздуха, рис.12б.

При выходе из строя РДВ или его электрических цепей частота вращения холостого хода двигателя становится нестабильной и в комбинации приборов загорается контрольная лампа диагностики.

## РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ

**Запуск двигателя.** При пуске топливо подается с избытком (богатая ТВ-смесь), т.к. оно плохо испаряется в холодном двигателе и конденсируется на стенках впускного коллектора. Но свечи зажигания заливаются не должны, иначе искрообразование ухудшится. Во время запуска ЭБУ управляет подачей топлива по калибровочным диаграммам, хранящимся в постоянной памяти, и корректирует состав ТВ-смеси по температуре охлаждающей жидкости. Датчик кислорода в это время еще не работает, так как не прогрет, а ТВ-смесь переобогащена. Количество подаваемого топлива начинает уменьшаться, после того как скорость вращения коленчатого вала превысит пороговое значение для данного типа двигателя. В некоторых системах управления при прокрутке ДВС все форсунки открываются одновременно и только после запуска начинают работать синхронно с тактами впуска своих цилиндров. Угол опережения зажигания при прокрутке определяется ЭБУ по оборотам и температуре двигателя. Для холодного двигателя и низкой скорости прокрутки угол опережения зажигания почти равен нулю. В любом случае при прокрутке ДВС значение угла опережения зажигания ограничивается, т.к. вспышка в камере сгорания до верхней мертвой точки может повернуть коленчатый вал в обратном направлении и повредить стартер.

**Режим продувки двигателя.** Если двигатель «залит топливом», он может быть пущен путем полного открытия дроссельной заслонки при

одновременном проворачивании коленчатого вала. Блок управления в этом режиме не выдает на форсунку импульсы, что продувает цилиндры двигателя. Блок управления поддерживает указанную длительность импульсов до тех пор, пока обороты двигателя ниже 500 об/мин, и датчик положения дроссельной заслонки показывает, что она почти полностью открыта (более 75%).

**Прогрев двигателя.** Сразу после запуска холодного ДВС во время его прогрева система управления двигателем должна обеспечивать:

- устойчивую работу двигателя;
- быстрый нагрев датчика кислорода и каталитического нейтрализатора для введения их в рабочее состояние;
- минимальное потребление топлива и загрязнение окружающей среды.

Для устойчивой работы холодного двигателя в него подается обогащенная ТВ-смесь. Степень обогащения зависит от температуры двигателя и всасываемого воздуха. В некоторых системах во время прогрева в каталитический газонейтрализатор подается дополнительный воздух. Образовавшиеся в цилиндрах излишки СО и СН (из-за обогащенной ТВ-смеси) доокисляются в каталитическом нейтрализаторе. Химическая реакция окисления ускоряет разогрев нейтрализатора. В другом варианте во время прогрева двигателя увеличивают обороты холостого хода и уменьшают угол опережения зажигания, что повышает температуру выхлопных газов и ускоряет разогрев каталитического газонейтрализатора и датчика кислорода. Применяется и электрический разогрев датчика кислорода и нейтрализатора.

**Режим открытого цикла (без обратной связи по датчику кислорода).** После пуска двигателя (когда обороты более 500 об/мин) блок управления будет управлять системой подачи топлива в режиме «открытого цикла». На этом режиме он игнорирует сигнал от датчика концентрации кислорода и рассчитывает длительность импульса на форсунку по сигналам от следующих датчиков:

- датчика положения коленчатого вала;
- датчика массового расхода воздуха;
- датчика температуры охлаждающей жидкости;
- датчика положения дроссельной заслонки.

На режиме открытого цикла расчетная длительность импульса может давать соотношение воздух/топливо, отличное от 14,7:1. Это будет, например, на холодном двигателе, т.к. в этом случае для получения хороших нагрузочных характеристик необходима обогащенная смесь. Блок управления будет оставаться в режиме открытого цикла до тех пор, пока не будут выполнены все следующие условия:

- сигнал датчика концентрации кислорода начал изменяться, показывая, что он достаточно прогрет для нормальной работы;
- температура охлаждающей жидкости стала больше **32°C**;
- двигатель проработал определенный период времени после пуска.

Это время может варьироваться от 6 сек до 5 мин в зависимости от температуры охлаждающей жидкости в момент пуска.

**Режим замкнутого цикла (с обратной связью по датчику кислорода).** На этом режиме блок управления сначала рассчитывает длительность импульса на форсунки на основе сигналов от тех же датчиков, что и в режиме открытого цикла. Отличие состоит в том, что в режиме замкнутого цикла еще используется сигнал от датчика концентрации кислорода для корректировки и тонкой регулировки расчетного импульса, чтобы точно поддерживать соотношение воздух/топливо на уровне 14,6... 14,7:1. Это позволяет каталитическому нейтрализатору работать с максимальной эффективностью.

**Режим ускорения.** Блок управления следит за резкими изменениями положения дроссельной заслонки и за расходом воздуха и обеспечивает подачу добавочного количества топлива за счет увеличения длительности импульса на форсунки. Если возросшая потребность в топливе слишком велика из-за резкого открытия дроссельной заслонки, то блок управления может добавить асинхронные импульсы на форсунки в промежутках между синхронными импульсами, которых при нормальной работе приходится один на каждый опорный импульс от датчика положения коленчатого вала.

**Работа в переходных режимах.** В переходных режимах, то есть при быстром увеличении или уменьшении нагрузки или оборотов ДВС, система управления должна обеспечивать плавную устойчивую работу двигателя.

При ускорении автомобиля дроссельная заслонка резко открывается, во впускной коллектор поступает больше воздуха. Система управления должна быстро отреагировать, чтобы не только не допустить обеднения рабочей смеси, но и успеть обогатить ее так, чтобы двигатель штатно отработал возросшую нагрузку. При этом не должно заметно увеличиваться загрязнение окружающей среды выхлопными газами. Для обеспечения максимального крутящего момента на валу двигателя угол опережения зажигания устанавливается на грани детонации.

**При торможении, езде под гору, торможении двигателем,** подача топлива резко ограничивается или полностью отключается до тех пор, пока обороты двигателя остаются выше заданного значения (чуть больше оборотов холостого хода). Система управления двигателем следит за тем, чтобы при отключении подачи топлива не остыли и не перешли в нерабочее состояние датчик кислорода и каталитический нейтрализатор. Обычно это реализуется дополнительным электроподогревом.

**Полная нагрузка.** При езде автомобиля под полной нагрузкой, например в гору, двигатель должен развивать максимальную мощность. ЭБУ управляет составом ТВ-смеси и углом опережения зажигания по калибровочным таблицам. Двигатель имеет наилучшие тяговые характеристики при  $\alpha=0,9...0,95$ , в этом диапазоне датчик кислорода не работает. Угол опережения зажигания имеет значение, обеспечивающее

максимальный крутящий момент на валу, при необходимости производится коррекция по детонации. Экологические показатели двигателя несколько ухудшаются.

**Работа на холостых оборотах.** В режиме холостого хода система управления двигателем в целях экономии топлива поддерживает минимальные устойчивые обороты. В городском цикле движения на холостом ходу автомобиль потребляет около 30% топлива. Система регулирования холостых оборотов должна отрабатывать как скачкообразно, так и плавно меняющиеся нагрузки. Обороты двигателя на холостом ходу автоматически регулируются изменением количества подаваемого воздуха или угла опережения зажигания. Воздух в режиме холостого хода обычно подается через байпасный канал, сечение которого регулируется шаговым двигателем по командам ЭБУ. Есть варианты, когда количество подаваемого воздуха регулируется автоматически управляемым электроприводом дроссельной заслонки. Недостатком системы управления оборотами холостого хода путем изменения пропускного сечения воздушного канала является ее инерционность, особенно при скачкообразных изменениях нагрузки. Более высокое быстродействие имеет система, работающая с изменением угла опережения зажигания в заданных пределах. В современных ЭБУ для управления оборотами холостого хода используются оба эти варианта управления. Чтобы двигатель, работающий на холостых оборотах, не останавливался при подключении к нему мощной нагрузки (например, компрессора кондиционера), сначала от выключателя нагрузки на ЭБУ поступает сигнал о предстоящем увеличении нагрузки, по которому ЭБУ увеличивает обороты двигателя, и лишь затем включается нагрузка.

**Режим торможения.** Когда благодаря закрытой дроссельной заслонке падают обороты двигателя, то оставшееся топливо во впускной трубе может быть причиной увеличения токсичности отработавших газов. Блок управления отслеживает поворот заслонки на закрытие, а также уменьшение расхода воздуха и снижает подачу топлива сокращением длительности импульсов на форсунки.

**Торможение двигателем (принудительный холостой ход).** Когда происходит торможение двигателем при включенных сцеплении и передаче, блок управления может кратковременно прекратить подачу импульсов на форсунки. Такой режим наступает, когда выполняются следующие условия:

- температура охлаждающей жидкости выше 20°C;
- частота вращения коленчатого вала выше 1800 мин<sup>-1</sup>. – скорость автомобиля более 20 км/ч;
- дроссельная заслонка закрыта;
- массовый расход воздуха более 43 г/сек.

Возобновление импульсов впрыска топлива произойдет при наличии любого из следующих условий:

- частота вращения коленчатого вала ниже 1600 мин<sup>-1</sup>;
- скорость автомобиля меньше 20 км/ч;
- дроссельная заслонка открыта на 2 % или более;
- массовый расход воздуха больше 38 г/сек;
- выключено сцепление, что определяется по быстрому падению оборотов.

Режим корректировки напряжения аккумуляторной батареи. При понижении напряжения аккумуляторной батареи форсунки открываются медленнее. Блок управления компенсирует это увеличением длительности импульсов на форсунки и оборотов холостого хода. Кроме того, увеличивается время накопления тока на катушках модуля зажигания.

**Режим отключения подачи топлива.** Топливо не впрыскивается форсунками при выключенном зажигании, чтобы не происходило самовоспламенения топлива в цилиндрах. Кроме того, не подаются импульсы на форсунки, если блок управления не получает опорных импульсов от датчика положения коленчатого вала, что означает остановку двигателя. Режим отключения подачи возможен также при высоких оборотах двигателя (свыше 6188 об/мин), для защиты его от разноса. В последнем случае подача топлива возобновляется как только обороты двигателя упадут ниже 6000 об/мин.

## **Рассмотрим особенности систем ME-Motronic.**

### **Система ME-Motronic**

Кроме основных своих функций система ME-Motronic выполняет и целый ряд дополнительных функций с разомкнутой и замкнутой системами управления. В качестве примера можно назвать следующие:

- регулирование частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу;
- регулирование коэффициента избытка воздуха (замкнутая система управления);
- улавливание топливных паров; рециркуляция отработавших газов для снижения содержания оксидов азота;
- контроль за работой вспомогательной воздушной системы для снижения содержания углеводородов в отработавших газах;
- автоматическое регулирование скорости движения (круиз-контроль).

Система ME-Motronic может выполнять еще целый ряд функций:

- управление работой турбонагнетателя и регулирование параметров впускного трубопровода с целью повышения выходной мощности двигателя;
- регулирование фаз газораспределения для снижения содержания вредных веществ в отработавших газах и увеличения мощности двигателя;

– устранение детонации, ограничение частоты вращения коленчатого вала и ограничение скорости движения автомобиля для защиты отдельных узлов и деталей двигателя и самого автомобиля от повреждений.

В системе ME-Motronic применяется координирование крутящего момента, с помощью которого сортируются часто противоречащие друг другу требования в обеспечении определенное значения крутящего момента и затем реализуется наиболее важное из этих требований. Система ME-Motronic через цепь питания бортового контроллера связи (**CAN**) может подсоединяться к электронным блокам управления (**ECU**) Других систем автомобиля. Так, подсоединение к блоку **ECU** автоматической трансмиссии среди прочих функций позволяет снизить крутящий момент в момент изменения передаточного отношения в трансмиссии, благодаря чему уменьшаются нагрузки на трансмиссию и ее износ. Система регулирования тягового усилия на колесах (**TCS**), входящая в блок ECU, при проскальзывании колес выдает системе ME-Motronic сигналы для уменьшения создаваемого крутящего момента.

Система ME-Motronic содержит компоненты бортового мониторинга (**OBD**). Они отвечают наиболее строгим экологическим нормам и требованиям интегрированной диагностики.

Система с электронным управлением дроссельной заслонкой (**ETC**), интегрированная в единый блок управления зажиганием, впрыском и другими вспомогательными функциями, позволяет определять положение педали газа посредством датчика ее перемещения (потенциометра), рис.13.



Рис.13 - Система с электронным управлением дроссельной заслонкой (**ETC, ETCS**)

В соответствии с текущим режимом работы двигателя блок ECU, рассчитав необходимую величину открытия дроссельной заслонки, воздействует на привод этой заслонки - положение контролируется датчиком угла поворота дроссельной заслонки (потенциометром). Таким образом, два потенциометра - педали газа и дроссельной заслонки - образуют элемент управляющей системы **ETC**, которая при работе двигателя производит непрерывный опрос всех датчиков и анализ расчетных данных, влияющих на угол открытия дроссельной заслонки.

## ЛЕКЦИЯ 7 Система *MED-Motronic*.

**Непосредственный впрыск** как очередное и эффективное средство в деле оптимизации сгорания смеси и повышения КПД бензинового двигателя реализует простые принципы. А именно: более тщательно распыляет топливо, лучше перемешивает с воздухом и грамотней распоряжается готовой смесью на разных режимах работы двигателя. В итоге двигатели с непосредственным впрыском потребляют меньше топлива, чем обычные «впрысковые» моторы (в особенности при спокойной езде на невысокой скорости); при одинаковом рабочем объеме они обеспечивают более интенсивное ускорение автомобиля; у них чище выхлоп; они гарантируют более высокую литровую мощность за счет большей степени сжатия и эффекта охлаждения воздуха при испарении топлива в цилиндрах. В то же время они нуждаются в качественном бензине с низким содержанием серы и механических примесей, чтобы обеспечить нормальную работу топливной аппаратуры.

Главное несоответствие между ГОСТами, ныне действующими в России и Украине, и евростандартами - повышенное содержание серы, ароматических углеводородов и бензола. Например, российско-украинский стандарт допускает наличие 500 мг серы в 1 кг топлива, тогда как "Евро-3"- 150 мг, «Евро-4»- лишь 50 мг, а «Евро-5»- всего 10 мг. Сера и вода способны активизировать коррозионные процессы на поверхности деталей, а мусор является источником абразивного износа калиброванных отверстий форсунок и плунжерных пар насосов. В результате износа снижается рабочее давление насоса и ухудшается качество распыления бензина. Все это отражается на характеристиках двигателей и равномерности их работы.

Первой применила двигатель с непосредственным впрыском на серийном автомобиле компания Mitsubishi. Поэтому рассмотрим устройство и принципы действия непосредственного впрыска на примере двигателя GDI (Gasoline Direct Injection). Двигатель GDI может работать в режиме сгорания сверхобедненной топливовоздушной смеси: соотношение воздуха и топлива по массе до 30-40:1.



Максимально возможное для традиционных инжекторных двигателей с распределенным впрыском соотношение равно 20-24:1 (стоит напомнить, что оптимальный, так называемый стехиометрический, состав - 14,7:1) - если избыток воздуха будет больше, переобедненная смесь просто не воспламенится. На двигателе GDI распыленное топливо находится в цилиндре в виде облака, сосредоточенного в районе свечи зажигания. Поэтому, хотя в целом смесь переобедненная, у свечи зажигания она близка к стехиометрическому составу и легко воспламеняется. В то же время, обедненная смесь в остальном объеме имеет намного меньшую склонность к детонации, чем стехиометрическая. Последнее обстоятельство позволяет повысить степень сжатия, а значит увеличить и мощность, и крутящий момент. За счет того, что при впрыскивании и испарении в цилиндр топлива, воздушный заряд охлаждается - несколько улучшается наполнение цилиндров, а также снова снижается вероятность возникновения детонации.

#### Основные конструктивные отличия GDI от обычного впрыска:



**Топливный насос высокого давления (ТНВД).** Механический насос (подобный ТНВД дизельного двигателя) развивает давление в 50 бар (у инжекторного двигателя электронасос в баке создает в магистрали давление около 3-3,5 бар).

**Форсунки** высокого давления с вихревыми распылителями создают форму топливного факела, в соответствии с режимом работы двигателя. На мощностном режиме работы впрыск происходит на режиме впуска и образуется конический топливовоздушный факел. На режиме работы на сверхбедных смесях впрыск происходит в конце такта сжатия и формиру-

ется компактный топливовоздушный факел, который вогнутое днище поршня направляет прямо к свече зажигания.

**Поршень.** В днище особой формы сделана выемка, при помощи которой топливо-воздушная смесь направляется в район свечи зажигания.

**Впускные каналы.** На двигателе GDI применены вертикальные впускные каналы, которые обеспечивают формирование в цилиндре т.н. "обратного вихря", направляя топливовоздушную смесь к свече и улучшая наполнение цилиндров воздухом (у обычного двигателя вихрь в цилиндре закручен в противоположную сторону).

### **Режимы работы двигателя GDI**

Всего предусмотрено три режима работы двигателя:

\* Режим сгорания сверхбедной смеси (впрыск топлива на такте сжатия).

\* Мощностной режим (впрыск на такте впуска).

\* Двухстадийный режим (впрыск на тактах впуска и сжатия) (применяется на евромодификациях).

**Режим сгорания сверхбедной смеси** (впрыск топлива на такте сжатия). Этот режим используется при малых нагрузках: при спокойной городской езде и при движении за городом с постоянной скоростью (до 120 км/ч). Топливо впрыскивается компактным факелом в конце такта сжатия в направлении поршня, отражается от него, смешивается с воздухом и испаряется, направляясь в зону свечи зажигания. Хотя в основном объеме камеры сгорания смесь чрезвычайно обеднена, заряд в районе свечи достаточно обогащен, чтобы воспламениться от искры и поджечь остальную смесь. В результате двигатель устойчиво работает даже при общем соотношении воздуха и топлива в цилиндре 40:1.

**Работа двигателя на сильнообедненной смеси** поставила новую проблему - нейтрализацию отработавших газов. Дело в том, что при этом режиме основную их долю составляют оксиды азота, и поэтому обычный каталитический нейтрализатор становится малоэффективным. Для решения этой задачи была применена рециркуляция отработавших газов (EGR-Exhaust Gas Recirculation), которая резко снижает количество образующихся оксидов азота и установлен дополнительный NO-катализатор.

**Система EGR** "разбавляя" топливо-воздушную смесь отработавшими газами, снижает температуру горения в камере сгорания, тем самым "приглушая" активное образование вредных оксидов, в том числе NOx. Однако обеспечить полную и стабильную нейтрализацию NOx только за счет EGR невозможно, так как при увеличении нагрузки на двигатель количество перепускаемых ОГ должно быть уменьшено. Поэтому на двигатель с непосредственным впрыском был внедрен NO-катализатор.

Существует две разновидности катализаторов для уменьшения вы-

бросов NOx - селективные (Selective Reduction Type) и накопительного типа (NOx Trap Type). Катализаторы накопительного типа более эффективны, но чрезвычайно чувствительны к высокосернистым топливам, чему менее подвержены селективные. В соответствии с этим, накопительные катализаторы устанавливаются на модели для стран с низким содержанием серы в бензине, и селективные - для остальных.

**Мощностной режим** (впрыск на такте впуска). Так называемый "режим однородного смесеобразования" используется при интенсивной городской езде, высокоскоростном загородном движении и обгонах. Топливо впрыскивается на такте впуска коническим факелом, перемешиваясь с воздухом и образуя однородную смесь, как в обычном двигателе с распределенным впрыском. Состав смеси - близок к стехиометрическому (14,7:1)

**Двухстадийный режим** (впрыск на тактах впуска и сжатия). Этот режим позволяет повысить момент двигателя в том случае, когда водитель, двигаясь на малых оборотах, резко нажимает педаль акселератора. Когда двигатель работает на малых оборотах, а в него вдруг подается обогащенная смесь, вероятность детонации возрастает. Поэтому впрыск осуществляется в два этапа. Небольшое количество топлива впрыскивается в цилиндр на такте впуска и охлаждает воздух в цилиндре. При этом цилиндр заполняется сверхбедной смесью (примерно 60:1), в которой детонационные процессы не происходят. Затем, в конце такта сжатия, подается компактная струя топлива, которая доводит соотношение воздуха и топлива в цилиндре до "богатого" 12:1.

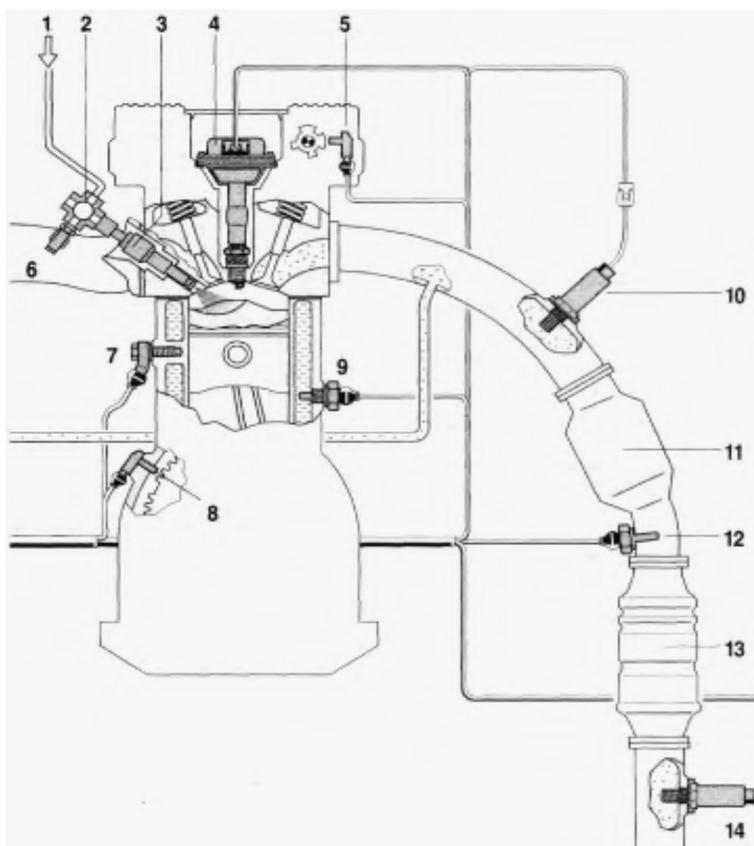
Почему этот режим введен только для автомобилей для европейского рынка? Да потому что для Японии присущи невысокие скорости движения и постоянные пробки, а Европа - это протяженные автобаны и высокие скорости (а следовательно, высокие нагрузки на двигатель).

### **MED-Motronic**

При оснащении бензинового двигателя с искровым зажиганием и непосредственным впрыском топлива системой MED-Motronic (рис. 4) расход топлива может быть снижен не менее чем на 20 % по сравнению с двигателем, имеющим впрыск топлива во впускной трубопровод.

При этом может быть достигнут длительный эффект снижения выбросов диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) во время движения автомобиля.

При **непосредственном впрыске** топлива должна осуществляться возможность скоординированного выбора между вариантами применения неоднородной смеси (послойного заряда) при неполной нагрузке и однородной (гомогенной) смеси при полной нагрузке и наоборот.



1 - подача топлива (под высоким давлением); 2 - топливная рампа; 3 - топливная форсунка; 4 - катушка зажигания со свечой зажигания; 5 - датчик фаз; 6 - датчик давления; 7 - датчик детонации; 8-датчик частоты вращения коленчатого вала и положения поршня; 9-датчик температуры двигателя; 10-лямбда-зонд; 11 - трехкомпонентный каталитический нейтрализатор отработавших газов; 12-датчик температуры отработавших газов; 13 - каталитический нейтрализатор оксидов азота (NOx в отработавших газах); 14 - лямбда-зонд (диагностический)

Рис.4 - Схема двигателя с непосредственным впрыском топлива и элементами системы MED-Motronic.

Основными **требованиями** при использовании системы MED-Motronic являются:

- точное дозирование потребного количества впрыскиваемого топлива;
- создание необходимого давления впрыска;
- управление моментом впрыска;
- впрыскивание топлива непосредственно в камеру сгорания.

Так же должны быть согласованы требования к величине крутящего момента двигателя, с тем, чтобы затем имелась возможность проведения необходимых регулировочных операций на данном двигателе.

Основной интерфейс системы обеспечивает регулирование крутящего момента двигателя, создаваемого процессом сгорания. Структура управления крутящим моментом может быть разбита на

следующие действия:

- определение крутящего момента;
- согласование при выборе требуемой величины крутящего момента;
- изменение крутящего момента.

Наиболее важной при изменении крутящего момента является команда, поступающая через педаль газа от водителя автомобиля, - в зависимости от положения педали газа система определяет конкретную величину крутящего момента.

Так же как и система впрыска топлива во впускной трубопровод двигателя, система непосредственного впрыска топлива выполнена с топливной рампой, по схеме аккумуляторного типа, рис.4.

В системе MED-Motronic топливо непосредственно впрыскивается в цилиндры в заданный момент времени посредством электромагнитных топливных форсунок высокого давления.

Блок управления системы MED-Motronic, как и в системе ME-Motronic, содержит задающий каскад, служащий для включения клапанов регулирования давления топлива. Масса поступающего во впускной трубопровод воздуха регулируется дроссельной заслонкой с электронным управлением (ETC). Точное дозирование массы воздуха контролируется датчиком массового расхода воздуха.

Качественный состав топливовоздушной смеси находится под контролем универсальных лямбда-зондов, размещенных в выпускном тракте перед и за каталитическим нейтрализатором. Лямбда-зонды служат для поддержания коэффициента избытка воздуха в пределах  $\alpha=1$  и для работы двигателя на обедненных смесях; кроме того, они отвечают за работоспособность каталитического нейтрализатора. Это важно для обеспечения точного дозирования при рециркуляции отработавших газов, особенно в условиях неустановившихся режимов.

### **Процессы смесеобразования и сгорания**

Получение высоких мощностных показателей и одновременно с этим низкого удельного расхода топлива для бензинового двигателя с непосредственным впрыском топлива возможно при использовании весьма сложной системы управления его работой. Следует делать различие между режимами работы двигателя в диапазоне малых и больших нагрузок.

### ***Работа системы в диапазоне малых нагрузок***

В этом диапазоне нагрузок двигатель работает с зарядом смеси, которая в основном послойно распределена по составу, и при высоком значении коэффициента избытка воздуха, обеспечивающим наименьший расход топлива. За счет задержки впрыска (непосредственно перед моментом зажигания) в идеале можно получить две зоны в камере сгорания: в одной зоне – у свечи зажигания - горючая топливовоздушная смесь находится в мелкодисперсном состоянии, а в другой зоне образуется слой, состоящий из воздуха и остаточных отработавших газов. При таких условиях двигатель может работать почти без дросселирования

смеси, при этом исключаются потери энергии на газообмен. Кроме того, благодаря предотвращению тепловых потерь на стенках камеры сгорания увеличивается термодинамический КПД.

### **Работа системы в диапазоне больших и средних нагрузок**

При увеличении нагрузки двигателя возрастает расход топлива – заряд расслоенной по составу смеси становится все более обогащенным. Это приводит к увеличению концентрации токсичных компонентов в отработавших газах и особенно к нагарообразованию. Для предотвращения всех этих нежелательных явлений двигатель в диапазоне высоких нагрузок должен переходить на использование однородной (гомогенной) смеси. Коэффициент избытка воздуха должен находиться между значениями  $\alpha=1$  и  $\alpha>1$  для обедненной смеси. **Впрыск топлива осуществляется во время такта, впуска** для гарантии эффективного смешивания топлива с воздухом.

Изменение состава топливовоздушной смеси по признаку **однородности/неоднородности** является основным фактором, влияющим на такое регулирование количества впрыскиваемого топлива воздушного заряда и момента зажигания, при котором обеспечивается постоянство крутящего момента, поступающего от двигателя на трансмиссию. В системе MED-Motronic выполнение важных регулирующих функций перекладывается непосредственно на дроссельную заслонку с электронным управлением.

Важно отметить, что при работе двигателя с послойным распределением смеси по составу трехкомпонентный каталитический нейтрализатор содержание оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) в отработавших газах не снижает. Содержание оксидов азота может быть снижено за счет использования системы рециркуляции отработавших газов (EGR) - приблизительно на 70%. Однако при существующих на сегодняшний день нормах предельной токсичности отработавших газов этого недостаточно. Для обеспечения требуемых норм наибольшей эффективностью обладает каталитический нейтрализатор аккумуляторного типа, специально предназначенный для улавливания  $\text{NO}_x$  и отработавших газов, который устанавливается в системе выпуска за трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором. В завершение следует отметить, что системы непосредственного впрыска бензина в основном обозначаются **MED, DI, GDI** (Gasoline direct injection), **FSI** (Fuel Stratified Injection - «послойный» впрыск топлива). В настоящее время идет внедрение систем непосредственного впрыска второго поколения **DI-II**, отличающихся повышенным давлением впрыска **20МПа**, и пьезоэлектрическими форсунками. Производятся также системы распределенного впрыска газообразного топлива: **SGI** (Sequential Gas Injection), **GSI** (Gaseous Sequential Injection).

## Лекция 8 3.2 ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ

### Тема 3.2.4 Электронные системы управления дизельного двигателя

Инженеры компании Bosch Diesel Systems в настоящее время работают над дизельным двигателем, расход топлива которого составит 3,7 литров на 100 км. Компания Bosch создала первый дизельный мотор для легковых автомобилей в 1936 году.

Отцом дизельного двигателя является Рудольф Дизель, который запатентовал свой "новый рациональный тепловой двигатель" в 1892 году.

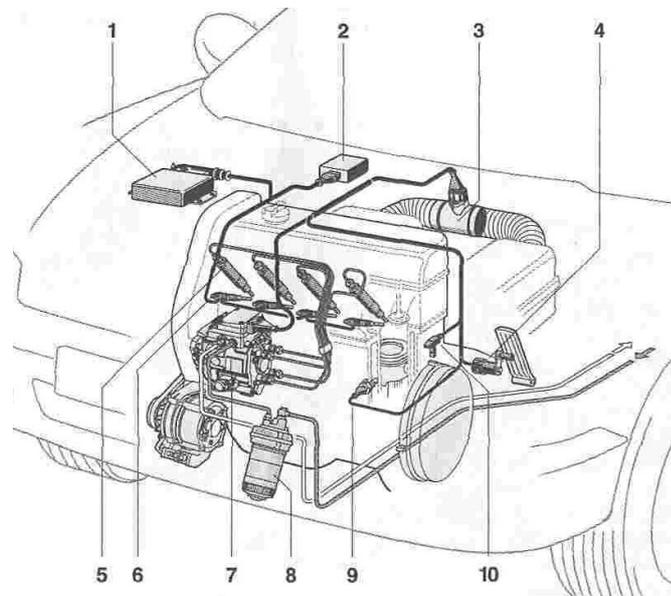
Основное преимущество дизельного двигателя перед бензиновым заключается в экономичности, но поначалу дизельные моторы были слишком громоздкими, "ленивыми" и тяжелыми, а потому первые тридцать лет их ставили только на суда и локомотивы.

И только в начале 1920-х годов специалистам компании немецкого предпринимателя Роберта Боша (Robert Bosch) удалось приспособить дизельные двигатели для работы на грузовых автомобилях. Для этого инженеры Bosch разработали специальный топливный насос высокого давления (ТНВД) - это основная часть дизельного двигателя, предназначенная для подачи в цилиндры точно отмеренных порций топлива. Серийное производство дизельных грузовиков в Германии началось в 1924 году.

Системы электронного управления работой дизельного двигателя (EDC) обладают интегральными функциями регулирования, обеспечивая изменение подачи топлива насосом в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, нагрузки и рабочей температуры двигателя.

Для управления **нагрузкой и частотой вращения коленчатого вала** дизеля используется только **изменение цикловой подачи топлива**; количество воздуха на впуске не дросселируется. Так как дизель на малых нагрузках при увеличении цикловой подачи топлива может увеличивать частоту вращения, превышающую допустимую, важно иметь устройство, ограничивающее это увеличение. Необходимо также иметь регулятор частоты вращения на режиме холостого хода.

**Распределительные насосы с электромагнитным управлением.** При использовании таких насосов количество подаваемого топлива отмеряется электромагнитным клапаном высокого давления, что обеспечивает большую гибкость при дозировании количества топлива и выборе момента начала впрыска, рис.1.



1 - ЭБУ двигателя; 2 - блок управления работой свечами накаливания; 3 - датчик массового расхода воздуха; 4 - датчик положения педали газа; 5 - форсунка; 6 - свеча накаливания; 7 - роторный ТНВД распределительного типа с блоком ЭБУ; 8 – топливный фильтр; 9 - датчик температуры; 10 - датчик частоты вращения коленчатого вала

Рис. 1 Система впрыскивания топлива с роторным топливным насосом. Основными элементами распределительных насосов нового поколения являются:

- электромагнитный клапан высокого давления;
- электронный блок управления;
- система управления работой электромагнитного клапана, в которой используются датчики угла поворота кулачкового вала насоса и момента впрыска топлива.

Закрытие электромагнитного клапана определяет начало подачи топлива, которая продолжается до момента открытия клапана. Количество впрыскиваемого топлива зависит от времени, в течение которого клапан остается закрытым. Такой метод обеспечивает быстрое регулирование подачи топлива независимо от частоты вращения коленчатого вала двигателя, улучшение герметизации полостей высокого давления и в конечном итоге увеличение эффективности насоса.

Насос снабжен собственным ЭБУ для точной установки момента начала подачи топлива и его дозирования. В памяти ЭБУ хранится программа работы конкретного насоса и информация о данных его калибровки. Электронный блок управления работой двигателя определяет начало впрыска топлива и его подачу на основе рабочих характеристик двигателя и отправляет эту информацию по каналу связи в блок ЭБУ насоса. С использованием такой системы можно управлять как моментом начала впрыска, так и началом нагнетания. ЭБУ насоса также получает сигнал о количестве впрыскиваемого топлива через шину данных. Этот

сигнал затем обрабатывается в ЭБУ двигателя в соответствии с сигналами, поступающими от педали газа, и другими параметрами, определяющими потребное количество топлива.

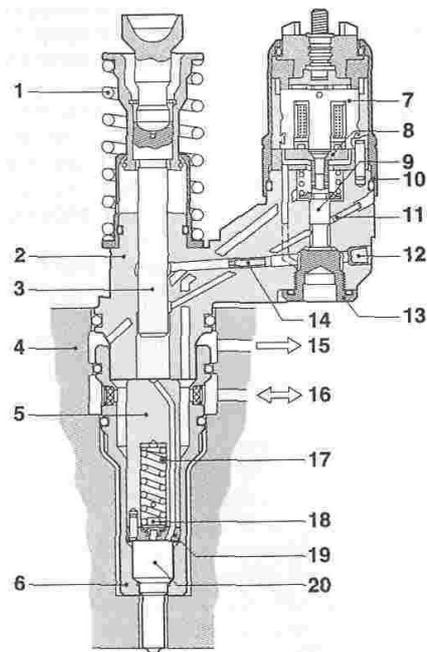
ЭБУ насоса сигналы о количестве впрыскиваемого топлива и скоростном режиме работы насоса на момент начала подачи топлива принимаются в качестве входных переменных для диаграммы рабочих характеристик насоса, на основании которых соответствующий период срабатывания сохраняется в виде угла поворота кулачкового вала. И наконец, момент срабатывания электромагнитного клапана высокого давления и продолжительность его закрытия определяются по данным угла поворота датчика, интегрированного в ТНВД распределительного типа (VE). Сигнал от датчика угла поворота кулачкового вала используется для управления этим углом поворота и временем закрытия клапана. Датчик состоит из магниторезистивного сенсора и кольцевого элемента, обладающего магнитным сопротивлением и имеющего метки, расставленные через  $3^\circ$ , для каждого цилиндра двигателя. Датчик с высокой точностью определяет угол поворота распределительного вала, при котором электромагнитный клапан открывается и закрывается. Это позволяет ECU насоса преобразовывать данные по моменту начала подачи топлива в данные по соответствующему этому моменту углу поворота кулачкового вала и наоборот.

Мягкое протекание процесса подачи топлива в начале впрыскивания, которое зависит от конструктивных особенностей насоса распределительного типа, еще больше реализуется при использовании двухпружинной форсунки. При работе прогретого двигателя с турбонаддувом такое протекание топливоподачи позволяет снизить уровень шума работающего двигателя.

Новое поколение систем впрыскивания топлива на основе одного насоса, регулируемого по времени, для современных легковых и грузовых автомобилей с дизелями с непосредственным впрыском характеризуется модульной конструкцией; эти системы включают электронно-управляемый блок, насос-форсунки (UIS) и блок насоса (UPS).

***Система с блоком насос-форсунок (UIS) для грузовых автомобилей.***

Электронно-управляемый блок насос-форсунки представляет собой одноцилиндровый ТНВД, рис. 2. Этот блок характеризуется интегральным соленоидным клапаном и предназначен для установки непосредственно на головке цилиндров дизеля. Кронштейны, работающие на растяжение, удерживают отдельные модули, которые имеют отдельные цепи подачи топлива для каждого из цилиндров двигателя.

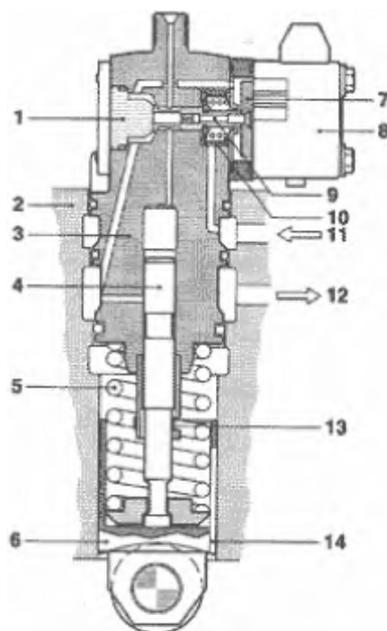


1 - пружина; 2 - корпус насоса; 3 - плунжер насоса; 4 - головка цилиндра; 5 - держатель пружины; 6 – стяжная гайка; 7 - статор; 8 - якорная пластина; 9 - игла соленоидного клапана; 10 - стяжная гайка соленоидного клапана; 11 - заглушка канала высокого давления топлива; 12 - заглушка канала низкого давления; 13 - упор иглы соленоида; 14 - сужение; 15 - возврат топлива; 16 - подача топлива; 17 - инжектор; 18 - нажимной штифт; 19 - прокладка; 20-распылитель

Рисунок 2 - Блок насос- форсунки (UIS)

Соленоидный клапан включается во время хода подачи плунжера насоса, перекрывая перепускной клапан, таким образом, герметизируя цепь высокого давления. Топливо затем подается к форсунке, как только превышает давление открытия распылителя. То есть впрыск топлива начинается, когда соленоидный клапан закрывается. Насос-форсунка используется при давлениях впрыскивания топлива до 160 МПа (180 МПа для перспективных моделей). Эта конструкция также может применяться для выборочного индивидуального отключения цилиндра (при частичных нагрузках).

**Система с топливным насосом высокого давления**, встроенным в блок цилиндров (UPS) для грузовых автомобилей. Система единичного насоса, объединенного с форсункой, также является модульной конструкцией с устройством впрыскивания топлива и управлением по времени, рис. 3..



1 упор перемещения иглы клапана; 2 - головка блока цилиндров двигателя; 3 - корпус насоса; 4 - плунжер; 5 - возвратная пружина; 6 - роликовый толкатель; 7 - диск якоря; 8 - статор; 9 - игла клапана; 10 - фильтр; 11 – подача топлива; 12 - возврат топлива; 13 - фиксатор; 14 - установочный паз

Рис. 3 - Индивидуальный ТНВД с электромагнитным клапаном (UPS)

Каждый цилиндр двигателя питается отдельным модулем со следующими компонентами:

- выполненный заодно с электромагнитным клапаном насос высокого давления;
- быстродействующий электромагнитный клапан;
- короткая линия высокого давления;
- корпус форсунки в сборе.

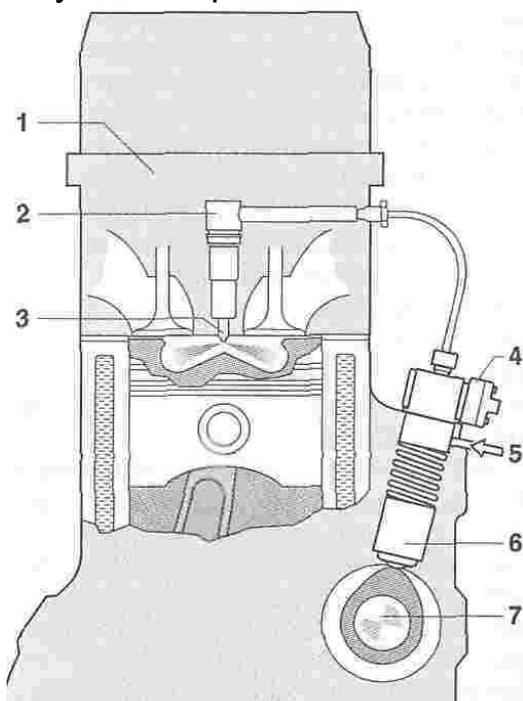
Индивидуальные системы насоса и форсунки обеспечивают прямую зависимость между параметрами топливоподачи и положением коленчатого вала. Согласование обеспечивается посредством зубчатого диска на коленчатом валу, в то время как импульсный датчик, установленный на распределительном валу, синхронизирует впрыскивание топлива в соответствии с каждым отдельным цилиндром. Управление процессом впрыскивания по типу обратной замкнутой связи протекает в соответствии с программой, хранящейся в памяти ЭБУ.

Электронный блок управления позволяет обеспечивать управление соленоидами насос-форсунок. Он контролирует и обрабатывает различные входящие сигналы измерительных датчиков. ЭБУ может хранить в памяти информацию, содержащую специфические схемы работы для получения разнообразных параметров. Основными данными являются частота вращения коленчатого вала двигателя и нагрузка, на которые водитель может оказывать непосредственное влияние посредством педали газа. Контролируемые параметры также включают

температуру воздуха, топлива, охлаждающей жидкости и давление турбокомпрессора. Эти основные функции могут дополняться разнообразием других операций, предназначенных для повышения удобства. ЭБУ удовлетворяет строгим требованиям надежности работы компенсацией и выявлением неисправностей функционирования отдельных составных частей. Он также предназначен для облегчения диагностики неисправностей работы дизеля и его системы топливоподдачи.

Индивидуальный для каждого цилиндра ТНВД устанавливается непосредственно в блок цилиндров дизеля, где он приводится в движение от кулачкового вала газораспределительного механизма.

Электромагнитный клапан осуществляет точное управление временем начала и продолжительностью впрыскивания топлива в соответствии с программой. В открытом состоянии электромагнитный клапан позволяет плунжеру насоса заполнять рабочую полость во время такта впуска и впрыскивать топливо в заданное время.



*Система с топливным насосом высокого давления, установленным в блоке цилиндров (UPS):*

- 1 – двигатель;
- 2 – корпус форсунки;
- 3 – распылитель;
- 4 – электромагнитный клапан;
- 5 – подвод топлива;
- 6 – насос высокого давления;
- 7 – распределительный вал

Область высокого давления герметизируется только во время такта подачи, когда электромагнит срабатывает на закрытие клапана. Впрыскивание топлива начинается в тот момент, когда давление перед форсункой станет выше давления начала подъема иглы. Индивидуальные для каждого цилиндра ТНВД могут создавать давление до 180 МПа (в

перспективе 200 МПа). Такие высокие давления впрыскивания топлива согласуются с электронным управлением с обратной связью, которое основывается на данных, записанных в памяти ЭБУ, для значительного сокращения расхода топлива и токсичности.

Данная система впрыскивания также обеспечивает получение дополнительных функций, например электроуправляемый предварительный впрыск и отсечку подачи топлива в отдельные цилиндры.

**Система с блоком насос-форсунок (UIS) для легковых автомобилей.** Система создана для удовлетворения требований, предъявляемых к современным дизельным двигателям с непосредственным впрыском топлива, обладающим высокой удельной мощностью. Система характеризуется компактностью конструкции, высоким давлением впрыскивания на выходе из форсунки (до 200 МПа) и наличием гидромеханического устройства для предварительного впрыскивания, осуществляемого по программе на всем рабочем диапазоне, что позволяет значительно снизить шум при сгорании топлива.

Эта система впрыскивания содержит несколько подсистем (по числу цилиндров двигателя), каждая из которых содержит насос высокого давления, форсунку и электромагнитный клапан. Насос-форсунка каждого цилиндра располагается в головке блока цилиндров между клапанами, и носик распылителя входит непосредственно в камеру сгорания двигателя. Насос-форсунки приводятся в действие коромыслами, которые, в свою очередь, приводятся от верхнего распределительного вала. Для получения компактности системы электромагнитный клапан расположен поперек.

Система впрыскивания заполняется топливом во время хода всасывания плунжера, пока электромагнитный клапан обесточен и, таким образом, открыт. Период впрыскивания топлива начинается, когда наступает момент закрытия электромагнитного клапана (при поступлении на него электрического тока), - это происходит во время хода подачи плунжера. Предварительное впрыскивание начинается, когда давление в системе высокого давления повышается до уровня, обеспечивающего открытие форсунки, а заканчивается, когда механический перепускной клапан открывается и резко снижает давление в камере высокого давления, обеспечивая закрытие форсунки. Ход и диаметр этого клапана определяют продолжительность так называемого интервала впрыскивания (между окончанием предварительного впрыскивания топлива и началом основного). Перемещение поршня перепускного клапана также воздействует на пружину форсунки, за счет чего быстро отсекается подача топлива в конце предварительного впрыскивания. Демпфер, расположенный между иглой и пружиной форсунки, позволяет гасить большие пульсации топлива при его подаче. Период времени, когда игла оставляет форсунку открытой, оказывается во время предварительного впрыскивания очень коротким. Основное впрыскивание начинается при

достижении определенного давления, обеспечивающего открытие форсунки. Однако, из-за воздействующего на пружину форсунки дополнительного усилия, это давление оказывается в 2 раза выше, чем в момент начала предварительного впрыскивания. Впрыскивание топлива заканчивается, когда электромагнитный клапан обесточивается и, следовательно, открывается. Промежутком времени между повторным открытием форсунки и открытием электромагнитного клапана определяется количество впрыскиваемого топлива во время фазы основного впрыскивания.

Применение электронного управления позволяет делать выборку из целого ряда хранящихся в памяти ЭБУ запрограммированных значений начала впрыскивания и количества впрыскиваемого топлива. Эта особенность системы, вместе с высокими давлениями впрыскивания, дает возможность получить очень высокую удельную мощность двигателя при низких значениях содержания токсичных веществ в отработавших газах и исключительно низком расходе топлива.

#### ***Аккумуляторная топливная система типа Common Rail (CRS).***

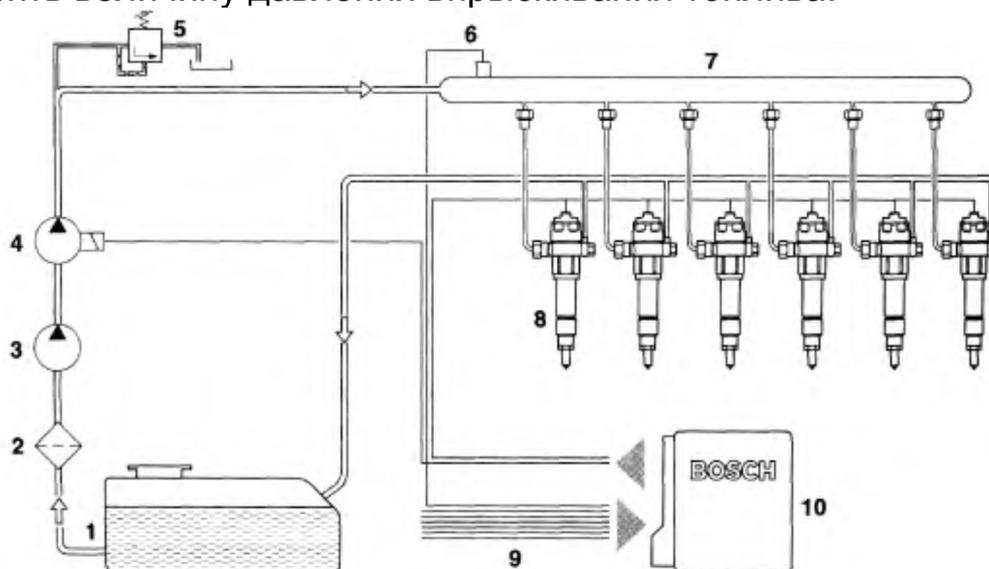
Системы впрыска «Common-Rail» для дизельных двигателей, разработанные фирмой «Бош», в последнее время все более привлекают внимание производителей. Такие системы, в частности, предлагает фирма «Мерседес-Бенц» (система «**CDI**»). Однако фирма «Мерседес» была не первой, которая обратилась к этой передовой технологии. Экспериментальные работы ранее проводились концерном «Фиат» совместно с фирмой «Бош» для модели «Альфа 156». Разработками систем «Common-Rail» занимается также немецкий концерн «Сименс» (**Siemens AG**) совместно со швейцарской фирмой **DUAP AG**.

Аккумуляторная система Common Rail используется на дизелях с непосредственным впрыском топлива на легковых, легких и тяжелых грузовых автомобилях. Эта система позволяет обеспечить более широкие, в отличие от вариантов с механическим приводом ТНВД, требования по впрыску топлива, а именно: расширение границы применимости, повышенное давление впрыскивания (до 1600 бар), изменяемый момент начала впрыскивания, обеспечение предварительного и дополнительного впрыскивания, регулирование давления впрыскивания (230-1600 бар) в зависимости от условий эксплуатации автомобиля. Вместе с тем, аккумуляторная система создает важнейшие предпосылки для повышения удельной мощности, снижения расхода топлива, а также для уменьшения уровней шума и эмиссии ОГ.

Принцип работы системы аналогичен принципу многоточечного впрыска у бензиновых двигателей. Количество впрыскиваемого в цилиндр топлива определяется давлением и временем открытия форсунок. Давление впрыска создается независимо от числа оборотов двигателя и может варьироваться в широком диапазоне (примерно от **250 до 1600 бар**). Управление впрыском при помощи быстро закрывающегося магнитного клапана позволяет получить также многоступенчатый впрыск, а именно

это и нужно конструкторам, чтобы дизельный двигатель с прямым впрыском работал плавно и имел низкую токсичность выхлопа.

Системы с аккумулятором делают возможным объединение системы впрыскивания топлива дизеля с различными дистанционно выполняемыми функциями и в то же время позволяют повышать точность управления процессом сгорания топлива, рис. 5. Отличительная характеристика системы с общим трубопроводом заключается в разделении узла, создающего давление, и узла впрыскивания. Это делает возможным повысить величину давления впрыскивания топлива.



1 - топливный бак; 2 - фильтр; 3 - топливоподкачивающий насос; 4 - насос высокого давления; 5 - редукционный клапан; 6 - датчик давления; 7 - аккумулятор; 8 - форсунки; 9 - ввод данных от измерительных датчиков; 10 - ЭБУ

Рис. 5 Система впрыска Common Rail с аккумулятором давления

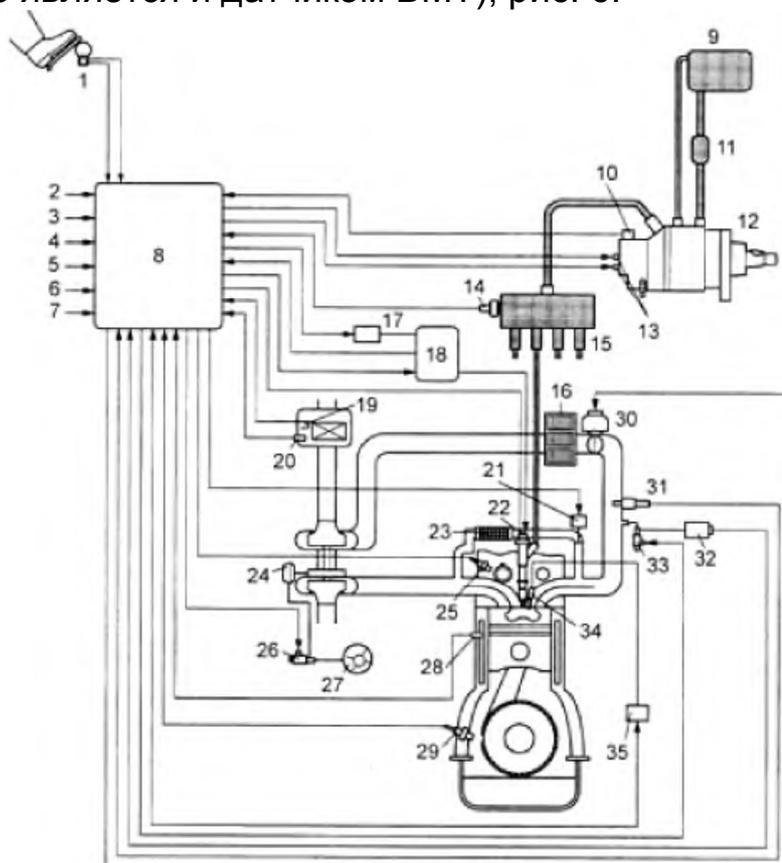
Основной особенностью системы является то, что давление впрыскивания не зависит от частоты вращения коленчатого вала и количества впрыскиваемого топлива.

Основу системы составляет резервуар (аккумулятор). Этот резервуар включает компоненты распределительного трубопровода, линии подачи топлива и форсунки. Плунжерный насос высокого давления (насос рядного типа на грузовых автомобилях, радиальное плунжерное устройство на легковых автомобилях) создает давление; этот насос требует для работы низких значений крутящего момента и существенно уменьшает потребности в тяговом усилии.

Количество впрыскиваемого топлива определяется периодом открытия распылителя и давлением в системе.

Система Common Rail позволяет контролировать движение иглы форсунки, а вместе с ней и схему впрыскивания в пределах

определенного диапазона. Система управления стала практически полностью электронной. Педаль акселератора больше не связана механически с ТНВД (ее положение контролируется датчиком), на шкивах коленчатого вала и распределительного вала появились, соответственно, датчики положения коленчатого и распределительного валов (первый также является и датчиком ВМТ), рис. 6.



1 - датчик положения педали акселератора, 2 - от замка зажигания, 3 - сигнал стартера, 4 - сигнал кондиционера, 5 - от датчика скорости, 6 - от генератора, 7 - от разъема DLC, 8 - электронный блок управления двигателем, 9 - топливный бак, 10 - датчик температуры топлива, 11 - топливный фильтр, 12 - ТНВД, 13 - клапан SCV, 14 - датчик давления топлива, 15 - топливная рампа, 16 - промежуточный охладитель (интеркулер), 17 - реле блока управления форсунками, 18 - блок управления форсунками (усилитель форсунок), 19 -расходомер воздуха, 20 - датчик атмосферной температуры, 21 - клапан EGR, 22 - форсунка, 23 - охладитель EGR, 24 - пневмопривод управления турбокомпрессором, 25 - датчик положения распределительного вала, 26 - клапан управления разрежением (пневмопривода турбокомпрессора), 27 - вакуумный насос, 28 - датчик температуры охлаждающей жидкости, 29 - датчик положения коленчатого вала, 30 - дроссельная заслонка, 31 - датчик температуры воздуха на впуске, 32 - датчик давления наддува, 33 - электропневмоклапан датчика давления наддува, 34 - свеча накаливания, 35 - реле свечей накаливания

Рис. 6 - Схема системы управления дизелем TOYOTA с системой Common Rail

В насосах для легковых автомобилей необходимое давление в системе поддерживается регулировочным клапаном, расположенным на корпусе насоса. Насосы высокого давления для грузовых автомобилей имеют систему регулирования количества нагнетаемого топлива. В последних моделях таких насосов для легковых автомобилей также применяется устройство для регулирования количества нагнетаемого топлива. Это позволяет снизить температуру топлива, циркулирующего внутри системы. Давление системы, создаваемое ТНВД, распространяется через аккумулятор и топливопроводы к форсунке. Форсунка обеспечивает подачу нужного количества топлива в камеру сгорания. В точно установленный момент ЭБУ передает сигнал возбуждения к соленоиду форсунки, означающий начало подачи топлива.

Эта система расширяет область оптимизации процесса сгорания посредством разделения функций создания давления и впрыскивания. Давление впрыскивания остается постоянным на период продолжительности процесса впрыска топлива при давлении (с минимальными отклонениями) 140 МПа для грузовых автомобилей и 135 МПа для легковых.

Такая способность управлять характером сгорания может использоваться для многоимпульсного впрыскивания в целях уменьшения вредных компонентов отработавших газов; также это может обеспечить снижение шума.

Последние разработки систем «Common-Rail» фирмы «Сименс» отличаются использованием новейших пьезогидравлических форсунок. Время их срабатывания при подаче напряжения составляет всего 0,1 мкс, уменьшено также так называемое «мертвое» время, т.е. время, требующееся на перемещение подвижных частей. В этих форсунках использованы пьезосоленоиды на керамической основе.

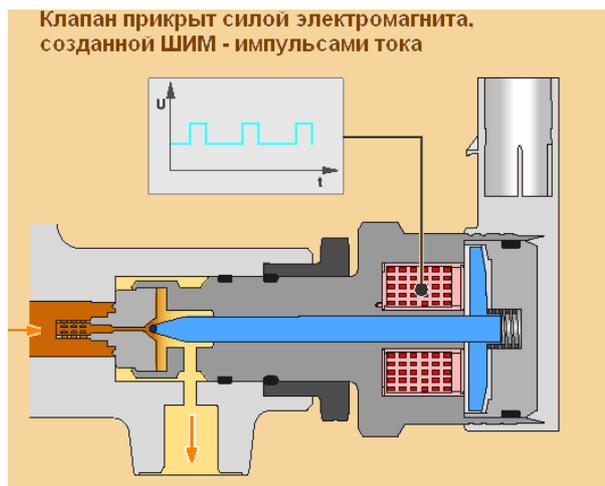
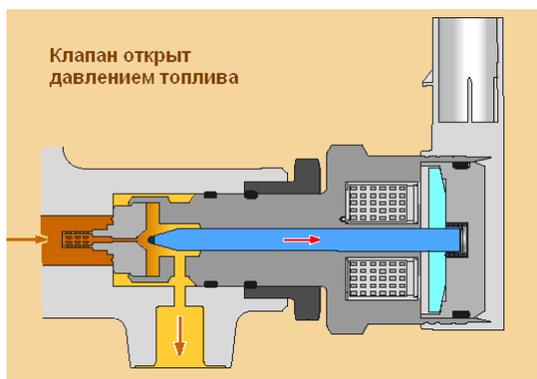
В системах с пьезогидравлическими форсунками происходит более точное дозирование очень малых доз впрыскиваемого топлива, более точно и четко реализуется начало впрыска топлива.

### **Регулирование давления в рампе**

При повышении давления клапан открывается и часть топлива из топливной рампы через обратную магистраль сливается в топливный бак.

При понижении давления клапан закрывается и отключает рампу от обратной магистрали.

Клапаном управляет контроллер путем широтно-импульсной модуляции управляющего сигнала. Клапан синхронно закрывается и открывается, регулируя давление на заданном уровне.



## Процесс впрыска

Топливо впрыскивается в камеры сгорания посредством электрогидравлических форсунок. Для повышения эффективности процесса сгорания подаче основной дозы топлива предшествует впрыск запальной дозы. Для этого блок управления системой впрыска дизеля подает на форсунки команды отдельно для подачи запальной и основной доз топлива.

### Впрыск запальной дозы топлива

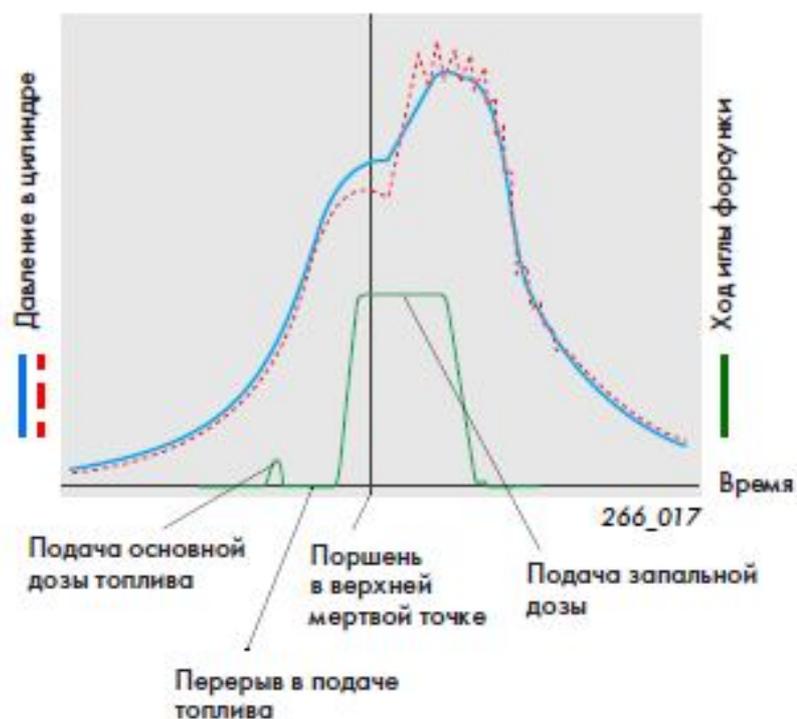
Прежде чем поршень достигнет верхнюю мертвую точку, в камеру сгорания соответствующего цилиндра впрыскивается небольшое количество запального топлива. Его сгорание сопровождается повышением температуры и давления в камере сгорания. Благодаря этому сокращается период задержки воспламенения основной порции топлива и в результате уменьшается максимальное давление цикла и скорость его повышения.

Впрыск запальной дозы топлива позволяет:

- снизить шум от сгорания,
- уменьшить выброс вредных веществ с отработавшими газами.

### Впрыск основной дозы топлива

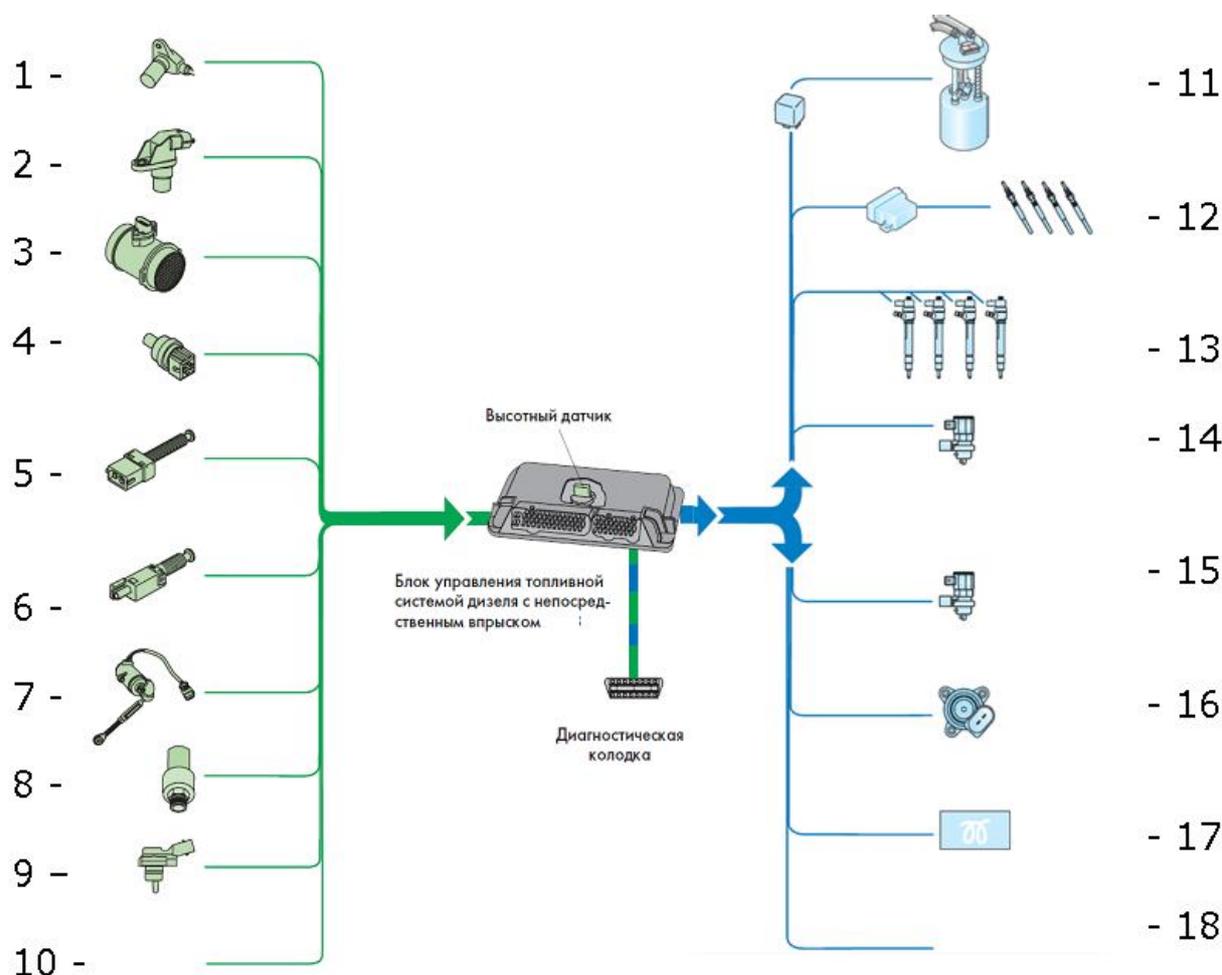
Впрыск основной дозы топлива производится в камеру сгорания через некоторый промежуток времени после воспламенения его запальной дозы. Впрыск основной массы топлива производится практически под постоянным давлением.



- Протекание давления с впрыском запальной дозы топлива
- - - Протекание давления без впрыска запальной дозы топлива
- Ход иглы форсунки при впрыске запальной и основной доз топлива

Рис. 7 – Различия протекания давления в цилиндре двигателя при впрыске с запальной дозой и без нее

### Система управления двигателем



### **Датчики**

1–Датчик частоты вращения коленчатого вала; 2–Датчик Холла; 3–Измеритель расхода топлива; 4–Датчик температуры охлаждающей жидкости; 5–Выключатель сигнала торможения с датчиком на педали тормоза; 6–Датчик на педали сцепления; 7–Педаля акселератора с датчиком ее положения и датчиком перехода на холостой ход; 8–Датчик давления топлива; 9–Датчик давления во впускном трубопроводе и датчик температуры воздуха в нем; 10–Дополнительные входные сигналы.

### **Исполнительные устройства**

11–Реле топливного насоса и электронасос; 12–Реле свечей накаливания и свечи накаливания цилиндров 1-4; 13–Электромагнитные клапаны форсунок цилиндров 1-4; 14–Электромагнитный клапан ограничения давления наддува; 15–Клапан управления впускной заслонкой; 16–Клапан регулятора давления топлива; 17–Контрольная лампа свечей накаливания; 18–Дополнительные входные сигналы.

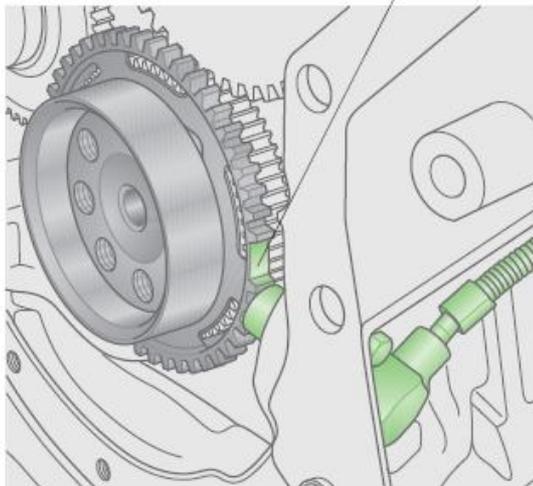
## **Датчики**

### **Датчик частоты вращения двигателя**

Этот индуктивный датчик установлен на корпусе распределительного механизма. Задающий диск датчика расположен на коленчатом вале между маховиком и ведущей шестерней. Меткой начала отсчета является сег-

ментный вырез на задающем диске.

Сегментный вырез



**Сегментный вырез** - выступ, определяющий начало отсчета  
**Использование сигнала**

По сигналам датчика определяется частота вращения коленчатого вала и его точное положение. Эта информация используется в блоке управления системой впрыска дизеля для определения угла опережения впрыска и цикловой подачи топлива.

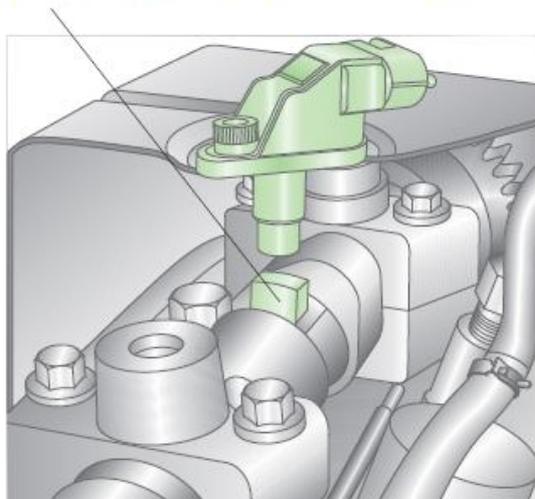
**Последствия отсутствия сигнала датчика**

При отсутствии сигнала этого датчика работа двигателя невозможна.

### **Датчик Холла**

Датчик Холла закреплен на крышке головки цилиндров. Метка начала отсчета определяется по положению выступа на распределительном вале относительно датчика. Датчик служит для определения положения распределительного вала.

Выступ, определяющий начало отсчета



**Использование сигнала**

Сигнал этого датчика используется для определения фазы в первом цилиндре двигателя при пуске.

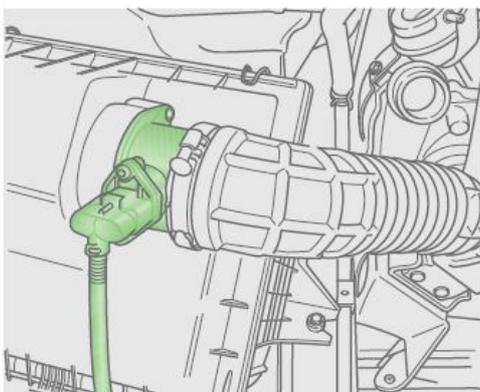
### **Последствия при отсутствии сигнала**

При прекращении подачи сигнала с этого датчика двигатель продолжает работать. При этом блок управления системой впрыска дизеля использует сигналы датчика частоты вращения коленчатого вала. Однако, пуск двигателя после его остановки невозможен.

### **Измеритель массового расхода воздуха**

На впускном трубопроводе установлен измеритель массового расхода воздуха, учитывающий обратные потоки.

Обратные потоки возникают в результате колебаний массы воздуха во впускном трубопроводе, возбуждаемых открытиями и закрытиями клапанов. Пленочный термоэлектрический датчик распознает обратное течение воздуха и вырабатывает сигнал расхода с учетом направления его движения.



Этот сигнал передается далее на блок управления системой впрыска дизеля.

### **Использование сигнала**

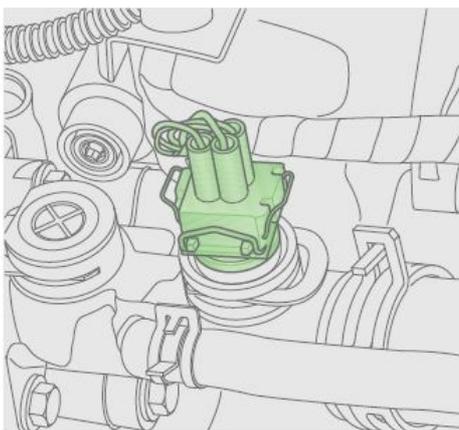
Сигнал измерителя используется в блоке управления системой впрыска дизеля при расчете дозы впрыскиваемого топлива.

### **Последствия при отсутствии сигнала**

При отсутствии сигнала измерителя массового расхода воздуха блок управления системой впрыска дизеля рассчитывает дозу впрыскиваемого топлива, исходя из определенного постоянного значения расхода воздуха на цикл.

### **Датчик температуры охлаждающей жидкости**

Датчик температуры охлаждающей жидкости установлен на патрубке головки цилиндров. Соответствующий текущей температуре охлаждающей жидкости сигнал передается на вход блока управления системой впрыска дизеля.



### **Использование сигнала**

Температура охлаждающей жидкости учитывается в блоке управления системой впрыска дизеля в качестве корректирующей величины при расчете дозы впрыскиваемого топлива.

### **Последствия при отсутствии сигнала**

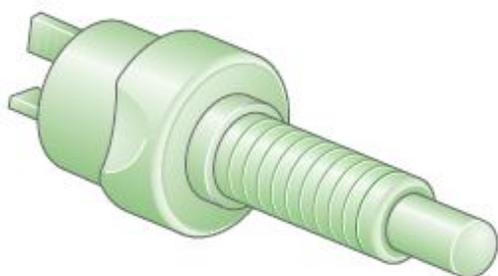
При отсутствии сигнала блок управления системой впрыска дизеля производит расчеты, исходя из заменяющей его постоянной величины.

### **Выключатель сигнала торможения и контактный датчик на педали тормоза**

Выключатель сигнала торможения и контактный датчик на педали тормоза расположены в одном общем держателе на педальном механизме. Они подают на блок управления системой впрыска дизеля сигналы о начале перемещения педали тормоза.

### **Использование сигнала**

С выключателя и датчика на педали тормоза блок управления системой впрыска дизеля получает сигнал «Тормоз действует». При неисправности датчика положения педали акселератора воздействие на педаль тормоза вызывает по соображениям безопасности снижение частоты вращения двигателя.



### **Последствия при отсутствии сигналов**

При неисправности выключателя или датчика блок управления системой впрыска дизеля снижает подачу топлива. В результате мощность двигателя уменьшается.

### **Датчик на педали сцепления**

Этот датчик установлен на педальном узле и приводится от педали сцепления. По его сигналу определяется начало перемещения педали сцепления.



### **Использование сигнала**

По сигналам этого датчика блок управления системой впрыска дизеля определяет, включено или выключено сцепление. При воздействии на педаль сцепления подача топлива в цилиндры двигателя кратковременно снижается. Благодаря этому предотвращается дерганье двигателя в процессе переключения передач.

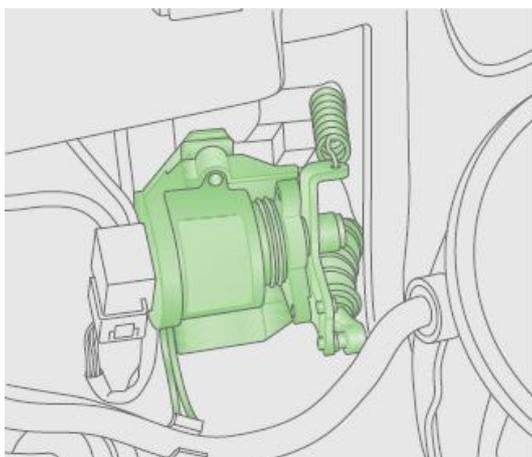
### **Последствия при отсутствии сигнала**

При отсутствии сигнала датчика на педали сцепления могут наблюдаться резкие изменения крутящего момента при переключении передач.

### **Датчик положения педали акселератора с датчиком перехода на холостой ход**

Датчик положения педали акселератора расположен в моторном отсеке. С педалью акселератора он соединен посредством штанги.

По сигналу этого датчика блок управления системой впрыска дизеля определяет положение педали акселератора. В корпусе датчика положения педали акселератора размещен также датчик перехода на холостой ход.



### **Использование сигналов**

Положение педали акселератора является важнейшей из величин, используемых при расчете подачи топлива. Датчик перехода на холостой ход подает сигнал на блок управления системой впрыска дизеля о начале

перемещения педали акселератора.

### **Последствия при отсутствии сигнала**

При отсутствии сигнала датчика блок управления системой впрыска дизеля не может определить положение педали акселератора. При этом двигатель переводится на режим холостого хода с повышенной частотой вращения. Таким образом водителю предоставляется возможность доехать до ближайшей мастерской.

### **Высотный датчик**

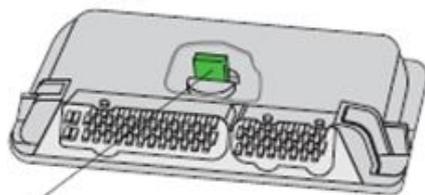
Высотный датчик встроен в блок управления системой впрыска дизеля.

### **Использование сигнала**

Блок управления системой впрыска дизеля получает от высотного датчика сигнал о величине атмосферного давления в каждый данный момент времени. Атмосферное давление зависит от высоты над уровнем моря. Его величина используется для коррекции давления наддува.

### **Последствия при отсутствии сигнала**

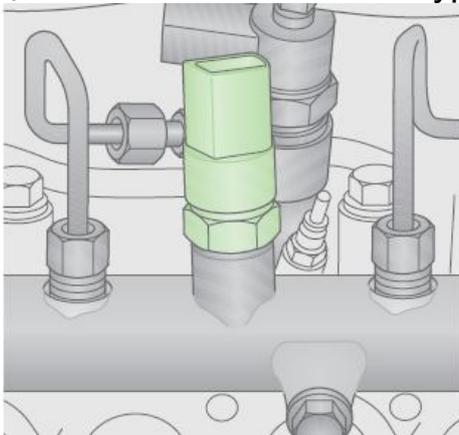
Двигатель находящегося на большой высоте автомобиля склонен к дымлению



Высотный датчик

### **Датчик давления топлива**

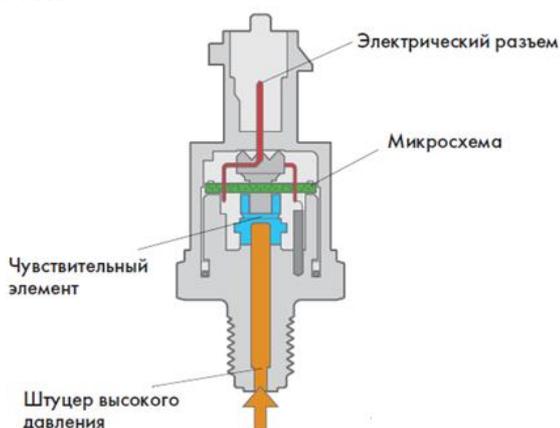
Этот датчик установлен на аккумуляторе системы впрыска. Он измеряет давление топлива в контуре высокого давления.



### **Принцип действия**

Давление топлива действует на чувствительный элемент датчика, сообщаемого с аккумулятором через его штуцер. Чувствительный эле-

мент датчика представляет собою стальную мембрану с напыленными на нее тензометрическими дорожками. Под действием давления мембрана прогибается, при этом изменяется электрическое сопротивление тензометрических дорожек. Полученный таким образом сигнал усиливается микросхемой, а формируемое на его выходе напряжение передается на блок управления системой впрыска дизеля. Истинное значение действующего давления топлива рассчитывается в блоке управления системой впрыска дизеля с учетом сохраняемой в его памяти функциональной зависимости.



### **Использование сигнала**

Сигнал напряжения используется в блоке управления системой впрыска дизеля в качестве одной из величин, влияющих на регулирование давления топлива в контуре высокого давления.

### **Последствия при отсутствии сигнала**

При отсутствии сигнала этого датчика работа двигателя невозможна.

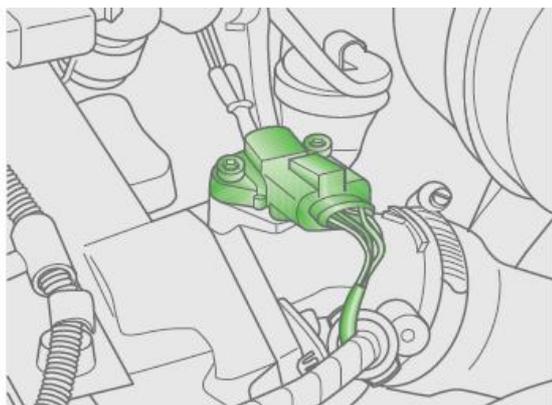
При регистрации датчиком резкого понижения или повышения давления топлива в контуре высокого давления двигатель по соображениям безопасности останавливается.

### **Датчик давления во впускном трубопроводе и датчик температуры воздуха в нем**

Оба датчика размещены в общем корпусе, устанавливаемом на впускном трубопроводе двигателя.

### **Датчик давления во впускном трубопроводе**

Этот датчик измеряет текущее давление воздуха во впускном трубопроводе.



### **Использование сигнала**

Сигнал этого датчика используется в блоке управления системой впрыска дизеля для регулирования давления наддува.

### **Последствия при отсутствии сигнала**

Так как заменяющая сигнал датчика величина отсутствует, при его неисправности процесс регулирования давления наддува прекращается, а мощность двигателя ограничивается.

### **Датчик температуры воздуха во впускном трубопроводе**

Этот датчик измеряет текущую температуру поступающего в двигатель воздуха.

### **Использование сигнала**

Сигнал этого датчика используется в блоке управления двигателем в качестве величины, по которой корректируется давление наддува. При этом учитывается влияние температуры на плотность наддувочного воздуха.

### **Последствия при отсутствии сигнала**

При отсутствии сигнала датчика блок управления системой впрыска дизеля производит расчеты, исходя из заменяющей его постоянной величины. При этом может иметь место снижение мощности двигателя.

## **Дополнительные входные сигналы**

### **Сигнал скорости автомобиля**

Этот сигнал блок управления системой впрыска дизеля получает от датчика скорости автомобиля. От величины этого сигнала зависит выполнение следующих функций:

- ограничение максимальной скорости автомобиля,
- сглаживание толчков при переключении передач,
- контроль работы системы регулирования скорости автомобиля.

### **Сигнал с выключателя системы регулирования скорости автомобиля**

По этому сигналу, поступающему с выключателя системы регулирования скорости автомобиля, блок управления системой впрыска дизеля «узнает» об активном состоянии данной системы.

### **Сигнал включения компрессора кондиционера**

По этому сигналу, поступающему с выключателя кондиционера, блок управления системой впрыска дизеля «узнает» о включении компрессора кондиционера и соответственно повышает частоту вращения двигателя на холостом ходу, чтобы исключить ее резкое снижение в начальной фазе работы компрессора.

#### **Сигнал включения коробки отбора мощности**

Блок управления системой впрыска дизеля получает сигнал с выключателя коробки отбора мощности, в соответствии с которым производится соответствующее повышение частоты вращения двигателя.

#### **Дополнительные выходные сигналы**

##### **Сигнал частоты вращения коленчатого вала**

Этот сигнал направляется на комбинацию приборов, где он используется для формирования показаний тахометра.

##### **Сигнал с кондиционера**

Этот сигнал используется для отключения компрессора кондиционера, чтобы снизить нагрузку на двигатель при определенных режимах его работы.

### **Исполнительные устройства**

#### **Электромагнитный клапан ограничения давления наддува**

Электромагнитный клапан ограничения давления наддува установлен в магистрали вакуумного привода системы регулирования турбокомпрессора. Он и клапан переключения дроссельной заслонки установлены на щитке передка кузова со стороны моторного отсека.



Блок управления системой впрыска дизеля формирует широтно-импульсный сигнал, определяющий величину открытия клапана, от которого зависит разрежение в вакуумном приводе механизма поворота лопаток направляющего аппарата турбокомпрессора. Регулирование давления наддува производится блоком управления системой впрыска дизеля по многопараметровой характеристике, записанной в его памяти.

#### **Последствия при неисправности клапана**

При неисправности электромагнитного клапана ограничения давления двигатель продолжает работать с пониженной мощностью.

#### **Клапан переключения впускной заслонки**

Клапан переключения впускной заслонки служит для управления

разрежением в приводе заслонки, установленной во впускном трубопроводе. Впускная заслонка позволяет предотвратить раскачку двигателя при его остановке. Она ограничивает поступление воздуха в цилиндры двигателя при остановке. В результате снижается масса воздуха, сжимаемая в цилиндрах двигателя, и соответственно повышается равномерность вращения его вала.



### **Последствия при неисправности клапана**

При неисправности клапана впускная заслонка остается открытой.

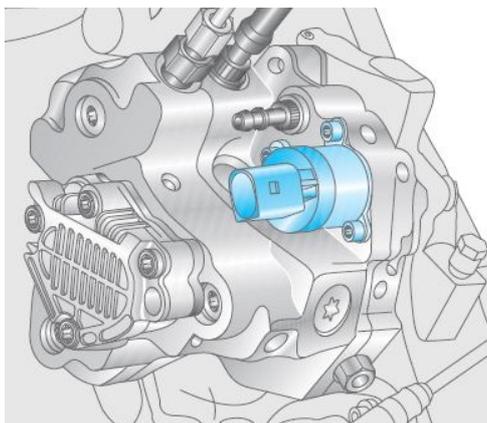
### **Клапан регулятора давления топлива**

Клапан регулятора давления топлива установлен на насосе высокого давления. Он предназначен для регулирования давления топлива в магистрали высокого давления по командам блока управления системой впрыска дизеля. Регулирование высокого давления производится путем дросселирования топлива в магистрали низкого давления. Преимущество этого способа заключается в том, что насос высокого давления подает топливо именно под тем давлением, которое в данный момент необходимо. Благодаря этому снижаются затраты мощности на привод насоса и уменьшается нагрев топлива.

### **Характеристики регулятора давления**

Клапан регулятора давления топлива управляется от блока управления дизелем. Блок управления системой впрыска дизеля рассчитывает необходимое для впрыска топлива давление с учетом значений сигналов, поступающих с

- датчика частоты вращения,
- датчика температуры охлаждающей жидкости,
- измерителя массового расхода воздуха,
- датчика давления воздуха во впускной трубе,
- датчика температуры воздуха во впускной трубе,
- датчика положения педали акселератора,
- датчика давления топлива в аккумуляторе.

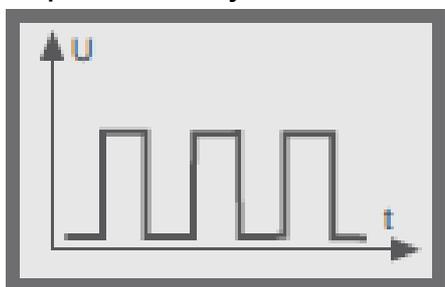


В соответствии с ними блок управления системой впрыска дизеля генерирует широтно-импульсный сигнал управления, подаваемый на клапан регулятора. При этом:

- большей ширине импульсов соответствует большее давление топлива,
- меньшей ширине импульсов соответствует меньшее давление топлива.

Блок управления системой впрыска дизеля изменяет ширину управляющих импульсов в зависимости от нагрузки двигателя. При этом изменяется расход топлива, поступающего к насосу высокого давления.

#### Широтно-импульсный сигнал



## **Лекция 9 Тема 4 Системы управления трансмиссией**

### **4.1 Устройство, принцип действия, свойства микропроцессорных систем управления коробками передач.**

Трансмиссия является сложным связующим звеном между двигателем и ведущими колесами и включает в себя множество элементов и механизмов. Трансмиссия обеспечивает передачу крутящего момента от двигателя к ведущим колесам, а также его изменение по величине и по направлению.

Как мы знаем, частота вращения коленчатого вала двигателя может при работе изменяться в определенном диапазоне. Этот диапазон у разных двигателей различный. При этом главными характеристиками двигателя является изменение момента и мощности в зависимости от скорости вращения коленчатого вала. В нашем же случае диапазон изменения скоростей вращения колес простирается от 0 до довольно больших величин. На скорости 150 км/ч в зависимости от диаметра колеса эта величина может быть равной 1400-1500 мин<sup>-1</sup>. Итак, с одной стороны, колеса со своим диапазоном скоростей, с другой стороны, двигатель со своим, в результате встает довольно сложная задача увязать правую и левую части выражения.

В зависимости от типа трансмиссии момент силы, передаваемый на колеса, и скорость их вращения изменяются разными способами. Для этого существуют различные варианты исполнения трансмиссий. **Трансмиссии могут быть электрическими, механическими, гидромеханическими (комбинированными).** Тем не менее способ, при помощи которого осуществляется изменение величины крутящего момента (электрическая трансмиссия не в счет), достаточно прост; изменение момента и скорости осуществляется путем изменения передаточного числа. Как вы уже знаете, для перемены передаточного числа и существуют коробки передач, в которых устанавливается ряд пар шестерен с различными передаточными отношениями. Количество пар шестерен (передаточных) и их передаточные отношения подбираются таким образом, чтобы обеспечить соответствующие **тягово-скоростные** характеристики автомобиля.

Не секрет, что наши автолюбители относятся к автомобилям с автоматическими коробками передач с некоторой настороженностью. Тем не менее автоматические коробки передач активно вытесняют трансмиссии с механическими коробками передач. Это особенно заметно на примере таких стран, как США, Канада и Япония, где более 90% легковых автомобилей оборудованы именно автоматическими коробками. Даже в нашей стране, отличающейся настороженным отношением к АКПП, наметилась тенденция к увеличению объема продаж автомобилей с трансмиссиями, в состав которых входит АКПП.

Как утверждают автомеханики, сталкивающиеся с неисправностями АКПП, большинство проблем бывают вызваны именно нарушением правил эксплуатации и несвоевременным ТО.

#### **Плюсы АКПП:**

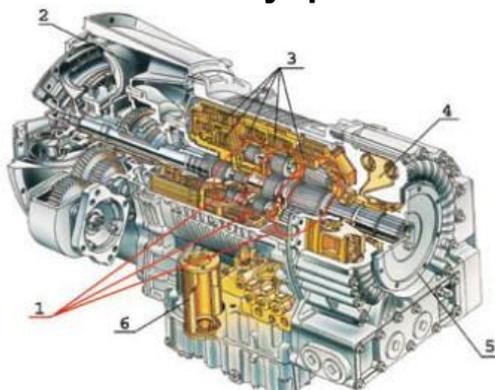
– безусловно, применение автомата увеличивает комфортность вождения. Благодаря наличию гидротрансформатора АКПП обеспечивает более мягкие условия эксплуатации, как для двигателя, так и для ходовой части в целом.

#### **Минусы АКПП:**

– КПД автомата на 2-5% ниже, чем у механической КПП. Потери происходят в гидротрансформаторе, некоторое количество энергии, выработанной двигателем, расходуется на перелопачивание трансмиссионной жидкости, то есть на преодоление внутреннего трения и нагрев трансмиссионного масла, обладающего, между прочим, не малой вязкостью. Таким образом, полезная механическая работа превращается в тепловую энергию, которая при помощи радиатора рассеивается во внешнее пространство. Кроме того, определенную часть энергии забирает насос, создающий рабочее давление в коробке.

При остальных равных условиях (мощности двигателя и массе автомобиля) автомобиль, оснащенный АКПП, по приемистости будет уступать автомобилю, имеющему в активе механическую коробку. Хотя это не всегда так, поскольку современные автоматические трансмиссии в некоторых режимах движения позволяют добиться более высокой экономичности по сравнению с механическими КПП за счет поддержания оптимальных оборотов двигателя и интеллектуального управления режимами. И, наконец, недостаток, который для многих может стать определяющим при выборе автомобиля: автомобиль с АКПП **нельзя завести с толкача**.

#### **4.1.1 Системы управления АКПП**



1-Планетарные передачи. 2-Гидротрансформатор. 3-Фрикционные пакеты. 4-Демпфер крутильных колебаний. 5-Фланец ведомого вала. 6-Масляный фильтр.

Рис. 1-АКПП, устанавливаемая на автобусы SCANIA

В автоматических трансмиссиях первого поколения системы управления были целиком гидравлическими. В них формировались сигналы, пропорциональные скорости движения автомобиля (давление скоростного

регулятора) и загруженности двигателя (давление клапана-дросселя). В зависимости от соотношения этих двух сигналов в коробке передач и происходили соответствующие переключения. В дальнейшем гидравлику стали использовать только в качестве исполнительной части системы управления. Все остальные функции на современных автомобилях переданы компьютерному блоку управления, который, получая информацию в виде сигналов от многочисленных датчиков, обрабатывает и анализирует ее и принимает решение о переключении передач, обеспечивая при этом и соответствующее качество переключения. Кроме того, электронный блок управления постоянно контролирует исправность системы, записывая в свою память коды неисправностей тех элементов, в которых происходили сбои в процессе работы. Эту способность блока управления называют функцией самодиагностики.

Компьютер управления, включая соответствующий соленоид (клапан, управляемый электромагнитом, формирующий величину управляющего давления), определяет передаточное число на каждой передаче АКПП, при его несоответствии фиксируется ошибка данной передачи (допустим, пробуксовывание фрикционных дисков или разрушение планетарного механизма). Кстати, может анализироваться даже давление, необходимое для включения каждой муфты. Результаты измерения давления включения каждой муфты регистрируются, что позволяет прогнозировать степень износа фрикционных дисков. Это позволяет прогнозировать ресурс работы даже при нормальной работе коробки.

Несмотря на достоинства и недостатки, все типы коробок при правильной эксплуатации и регулярном квалифицированном ТО способны доставить радость владельцам автомобилей своей безотказной работой при пробеге более 200 тыс. км.

В автомобилях более позднего выпуска в блоках управления стали использовать программируемые запоминающие устройства. Такие устройства позволяют с помощью специальных приборов достаточно оперативно корректировать программы управления, ничего не изменяя в самом блоке управления.

**На начальном этапе движения**, когда двигатель и трансмиссия еще недостаточно прогреты, необходимо обеспечить их защиту от перегрузок. Для этого в блоке управления имеется специальная программа, в соответствии с которой управление двигателем и трансмиссией осуществляется без обратной связи, то есть без учета фактического состояния двигателя и трансмиссии. В этом случае для принятия решений блок управления использует только данные, записанные в его памяти.

Работа двигателя без обратной связи характеризуется **обогащенной смесью**, что требует отмены работы системы дожигания отработанных газов и изменения угла опережения зажигания. Для трансмиссии этот режим характеризуется **запретом блокировки гидротрансформатора** и более поздними по оборотам двигателя переключениями передач.

**Входными сигналами** для ЭБУ-АКП, по совокупности которых фор-

мируется последовательность манипуляций (переключений) в блоке электромагнитных клапанов, могут являться следующие сигналы:

- частота вращения коленвала ДВС (от ДКВ);
- частота вращения вторичного (выходного) вала АКПП или скорость движения автомобиля (от КД);
- положение дроссельной заслонки и скорость ее перемещения (от ДПД);
- нагрузка ДВС (от ДНД);
- температура ДВС (от ДТД);
- температура масла в АКПП;
- положение рычага АКПП (от МФП);
- положение переключателя программ (если таковой имеется);
- положение переключателя режима "Kickdown" (от ДТТ).

Так как все перечисленные сигналы управления представляют собой неэлектрические воздействия, то они преобразуются в электрические (аналоговые или цифровые) сигналы с помощью указанных датчиков для АКПП. Если автомобиль оборудован электронными системами управления двигателем (ЭСАУ-Д) и гидравлическими тормозами (ЭСАУ-Т), то часть управляющих сигналов для АКПП берется из этих систем. Например, от системы ABS используются сигналы колесных датчиков (КД), по которым вычисляются средняя скорость движения автомобиля или частота вращения вторичного вала АКПП.

От системы управления двигателем к АКПП поступают сигналы о частоте вращения и о нагрузке ДВС, а также сигнал о положении и скорости перемещения дроссельной заслонки.

На рис. 1 показана функциональная блок-схема автоматической КПП (модель 018) для автомобиля "Audi-A8", на которой помимо текстовых обозначений и обозначений, указанных в табл. 1, имеются следующие:

#### **МК-АКП – микропроцессор;**

П1...П5 – входные преобразователи неэлектрических воздействий от датчиков в электрические сигналы для МК-АКП;

Р1...Р5 – выходные токовые реле с "сухими" контактами для включения электромагнитных клапанов АКПП;

3V (П) и 3V (Н) – запоминающие устройства для хранения программ (П) переключения и кодов неисправностей (Н) – соответственно.

#### **4.1.2 Работа автоматической коробки передач**

В отличие от обычной механической коробки передач автоматическая КПП с гидротрансформатором не имеет постоянного передаточного числа в любом из положений переключателя скоростей, чем обеспечивается бесступенчатая передача крутящего момента от двигателя к ведущим колесам при старте автомобиля с места и при разгоне. Объясняется это тем, что передаточное число АКПП, пока в ней не заблокирован гидротрансформатор, может изменяться под воздействием перераспределения крутящего момента между тремя рабочими колесами гидротрансформатора. Первое рабочее колесо соединено жестко с коленвалом ДВС и называется насосным. Своими лопатками насосное колесо нагнетает транс-

миссионное масло под центробежным давлением (зависящим от частоты вращения ДВС) на лопатки второго (турбинного) колеса, которое приводит во вращение вторичный (выходной) вал АКПП, с которым турбинное колесо связано жестко. Третье рабочее колесо установлено на муфте свободного хода между насосным и турбинным колесами. Это колесо называется реактором. Лопатки реактора принимают поток масла от турбинного колеса и изменяют направление потока таким образом, что он (поток) повторно направляется на лопатки турбинного колеса. Турбина получает дополнительный момент вращения, который суммируется с моментом, полученным турбинным колесом от насосного колеса. Таким образом, суммарный крутящий момент на выходе гидротрансформатора может быть больше, чем на его входе, и определяется частотой вращения турбинного колеса. Если скорость движения автомобиля снижается под воздействием увеличения нагрузки (подъем в гору), то частота вращения турбинного колеса падает, а крутящий момент увеличивается. При увеличении скорости автомобиля (при разгоне на прямом участке дороги) частота вращения турбины увеличивается, что приводит к уменьшению крутящего момента в гидротрансформаторе, следовательно, тяговая сила на ведущих колесах уменьшается. При некоторой частоте вращения вторичного (выходного) вала АКПП реактор начинает проворачиваться относительно муфты свободного хода и гидротрансформатор теряет свойства преобразователя крутящего момента. При этом скорости вращения первичного и вторичного валов АКПП становятся почти одинаковыми.

Диапазон изменения крутящего момента с помощью гидротрансформатора ограничен увеличением в 2.5...3 раза. Этого достаточно для обеспечения нормальной работы АКПП в одном из фиксированных положений переключателя скоростей. Но этого недостаточно для устойчивой работы двигателя на всех возможных режимах движения автомобиля. Поэтому автоматическая КПП содержит в своем составе многоступенчатую механическую коробку с переключением скоростей при помощи электромагнитных клапанов. Сами клапаны управляются сигналами от ЭБУ-АКП (см. рис. 1).

### **Программное управление автоматическим переключателем скоростей**

Автоматический переключатель скоростей АКПП – это блок электромагнитных клапанов, расположенных снизу коробки передач под планетарным редуктором. Его главная функция заключается в механическом перемещении шестерен планетарного редуктора в позиции, соответствующие одной из передач АКПП. Современные автоматические коробки легковых автомобилей имеют 3 или 4 передачи переднего хода и одну назад. Этим обеспечиваются стандартные режимы движения автомобиля.

Но динамика движения, а, следовательно, и работа АКПП в значительной степени определяются целью поездки и манерой вождения автомобиля, которые определяются водителем. Например при поездке "за город" на отдых водитель управляет автомобилем неторопливо, спокойно и ставит перед собой главной целью поездки экономию топлива и безопас-

ность движения. Как реализуется такой режим движения при езде на автомобиле с механической КПП?

Водитель включает скорости плавно, разгоняет автомобиль медленно и равномерно, на повышенные передачи переключается по указателю спидометра (первая скорость – до 20 км/час, вторая – до 40 км/час, третья – до 60 км/час, четвертая – до 80 км/час, пятая – не более 100 км/час), никогда без нужды не обгоняет. Но такую же программу движения можно реализовать и с помощью автоматической коробки передач, если алгоритм управления заранее поместить в постоянную память ЭБУ-АКП. Тогда система "АКПП" будет действовать аналогично водителю: плавно (медленным открытием дроссельной заслонки) увеличивать скорость движения автомобиля; при достижении скорости 20 км/час произойдет автоматическое переключение с первой передачи на вторую, и так далее. Такой режим движения называется "экономичным" и закладывается в память ЭБУ-АКП как "первый".

Рассмотрим другой случай, когда водителю необходимо срочно приехать в заданное место, а времени "в обрез". Теперь водитель мало думает об осторожности и совершенно забывает об экономии топлива. Передачи включает быстрым толчком рычага, скорость автомобиля на разгоне развивает предельно интенсивно, с целью форсирования двигателя задерживает переключение на повышенную передачу до предельно высоких оборотов ДВС. Такой режим движения называется "спортивным" и тоже может быть легко запрограммирован для системы "АКПП".

**При составлении программ для АКПП** между экономичным и спортивным режимами движения в память ЭБУ-АКП записывают еще три промежуточные стандартные программы для обычных условий движения.

В автомобилях **среднего потребительского класса пять стандартных программ** могут выбираться водителем с помощью специального переключателя программ, и тогда АКПП выполняет свои функции строго в рамках выбранного режима. Водитель в любое время может перевести АКПП из автоматического управления в режим активного индивидуального управления. Для этого достаточно воспользоваться рычагом переключения передач, но режим "DSP" (автоматического переключения программ) не реализуется.

На автомобилях высокого потребительского класса переключатель программ не устанавливается, а программы переключаются автоматически. Для этой цели рычаг АКПП имеет не одну, а две дорожки для перемещения.

На первой (основной) дорожке обеспечивается фиксация рычага в семи стандартных позициях: **1, 2, 3, D, N, R, P**. На этой дорожке исполняется и дополнительная функция **DSP**. На вторую (дополнительную) дорожку рычаг может быть переведен только с позиции "**D**" на основной дорожке. Для этого рычаг наклоняется вправо и фиксируется. На дополнительной дорожке рычаг может перемещаться вперед и назад без фиксации в этих положениях. Переводом рычага на дополнительную дорожку включается

режим **"Tiptronic"**. В этом режиме легкое проталкивание рычага управления вперед приводит к мгновенному переключению АКПП на следующую повышенную передачу. Действием в обратном направлении (назад) АКПП переключается на пониженную передачу. В режиме "Tiptronic" переключение передач выполняется без изменения тяговой силы, приложенной к колесам. При форсированном ускорении автомобиля в режиме "Tiptronic" переключение АКПП на более высокую передачу может осуществляться **только вручную**, следующим толчком рычага вперед. Но обратное переключение скоростей (на понижение) при замедлении происходит **автоматически**.

Для переключения системы "АКПП" с одной программы управления на другую без участия водителя дополнительно используются сигналы о положении и скорости перемещения дроссельной заслонки (от датчика положения дросселя ДПД в системе ЭСАУ-Д), а также сигналы об ускорении автомобиля и о разнице частот вращения между колесами переднего и заднего мостов (от датчиков системы ЭСАУ-Т). Таким образом, по совокупности этих сигналов и сигналов о частоте вращения коленвала ДВС и вторичного вала АКПП микропроцессор (МК) в ЭБУ-АКП определяет текущую динамическую ситуацию движения, анализирует манеру езды и намерения водителя и по результатам обработки информации выбирает соответствующую программу управления для АКПП.

Для автомобилей **высокого потребительского класса** составляется пакет из **десяти (SP1...SP10) рабочих динамических программ**, первые пять из которых (SP1...SP5) стандартные (от экономичной SP1 до спортивной SP5) и еще пять специальных. SP6 — программа для фазы прогрева ДВС, АКПП и катализатора. Программа SP7 является программой переключения АКПП в режиме "Tiptronic". Программы SP8, SP9, SP10 ориентированы на работу АКПП при движении автомобиля в горной местности. Так, программа SP8 предотвращает переключение на более высокую передачу, если автомобиль движется под уклон. Если при этом вводится в действие тормоз, то программа SP9 осуществляет переключение АКПП на более низкую передачу и реализует дополнительное торможение двигателем. При движении на подъем программа SP10 выбирает оптимальную скорость движения на пониженной передаче, и этим предотвращает частое переключение скоростей.

**Автоматический выбор программ** позволяет реализовать быстрое, качественное, корректное, высокоточное, а, следовательно, и высоконадежное переключение скоростей при различных условиях движения автомобиля.

#### **4.2 Системы совместного управления двигателем и трансмиссией (на примере модели "Audi-A8").**

**Принципиальная электрическая схема работает следующим образом:**

1. Если многофункциональный переключатель F125 находится в положении "P-parking" или "N-neutral", то возможен запуск двигателя стартером. Во всех остальных положениях стартер блокируется и запуск ДВС невозможен.

2. После прогрева ДВС и АКПП движение автомобиля "вперед" можно начинать, поставив рычаг либо в положение "1", либо в положение "D", а при движении "назад" – в положение "R".

3. Если рычаг установлен в положении "2" или "3", то АКПП работает с переключением скоростей только до установленного предела и обратно.

4. Все переключения скоростей реализуются с помощью блока электромагнитных клапанов G38, который одновременно является цифровым (кодовым) датчиком частоты вращения вторичного вала АКПП. Блок G38 управляется электрическими сигналами от ЭБУ-АКП (J217).

5. Используются сигналы от ЭБУ-"ABS-EDS" (J104) о частоте вращения колес (датчики G44...G47).

6. Блок ЭБУ (J217) и ЭБУ "Motronic" (J220) постоянно обмениваются информацией, тем самым реализуется своевременное и качественное (корректное) переключение передач в АКПП и управление крутящим моментом двигателя посредством привода дроссельной заслонки (ПДЗ).

7. В режиме "Tiptronic" АКПП работает по программе SP7 и обеспечивает мгновенное переключение скоростей без прерывания тяговой силы.

8. Положение рычага АКПП индицируется на световом табло G96 и на указателе, расположенном вдоль основной дорожки рычага.

9. Переключатель программ и указатель выбранной рабочей программы в системе "АКПП-018" не применяются.

10. Для проведения диагностики неисправностей АКПП в условиях станции технического обслуживания (СТО) предусмотрен диагностический разъем Pin7.

Диагностированию подлежат все входные устройства и датчики, а также все электромагнитные клапаны.

## **УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ АКП**

Автоматическая коробка включает в себя несколько агрегатов, основными являются гидротрансформатор и механическая планетарная коробка передач.

ГИДРОТРАНСФОРМАТОР состоит из двух лопастных машин – центробежного насоса, центростремительной турбины и расположенного между ними направляющего аппарата-реактора. Насос и турбина предельно сближены, а их лопастям придана форма, обеспечивающая непрерывный круг циркуляции рабочей жидкости. НАСОСНОЕ КОЛЕСО жестко связано с коленчатым валом двигателя, а ТУРБИННОЕ — с валом коробки передач. Передача энергии от двигателя к трансмиссии осуществляется потоками рабочей жидкости, которая отбрасывается лопатками насосного колеса на лопасти турбинного колеса. Жесткая связь при этом между двигателем и трансмиссией отсутствует. Это способствует обеспечению работы двига-

теля и остановке автомобиля с включенной передачей. Наличие такой связи устраняет вероятность того, что заглохнет двигатель, как по неопытности водителя, так и вследствие внезапного возрастания внешнего сопротивления, при котором может произойти полная остановка автомобиля.

Плавность передачи тягового усилия в случае использования гидропередачи повышает проходимость автомобиля при движении по грунтам с плохими сцепными свойствами.

Поскольку гидродинамические передачи не пропускают крутильные колебания от двигателя в трансмиссию, повышается надежность и долговечность элементов трансмиссии, а также силового агрегата в целом. Лопастные колеса гидропередачи (насосное, турбинное, реакторное) практически не изнашиваются.

Собственно по такой схеме работает гидромуфта, которая просто передает крутящий момент, не трансформируя его величину. Чтобы изменить момент, в конструкцию гидротрансформатора введен реактор. Это также колесо с лопатками, однако оно жестко прикреплено к корпусу и не вращается (заметим: до определенного времени). Реактор расположен на пути, по которому масло возвращается из турбины в насос. Лопатки реактора имеют особый профиль, а межлопаточные каналы постепенно сужаются. По этой причине скорость, с которой рабочая жидкость течет по каналам направляющего аппарата, постепенно увеличивается, а сама жидкость выбрасывается из реактора в сторону вращения насосного колеса, как бы подталкивая и подгоняя его. Отсюда сразу два следствия.

**Первое** – благодаря увеличению скорости циркуляции масла внутри гидротрансформатора при неизменном режиме работы насоса крутящий момент на выходном валу гидротрансформатора увеличивается.

**Второе** – при неизменном режиме работы насоса режим работы турбины изменяется автоматически и бесступенчато в зависимости от приложенного к валу турбины (читай: колесам автомобиля) сопротивления. Допустим, автомобилю, который двигался по равнинному участку дороги, предстоит подъем в гору. Забудем на время про педаль акселератора и посмотрим, как отреагирует на изменение условий движения гидротрансформатор. Нагрузка на ведущие колеса увеличивается, а автомобиль начинает терять скорость. Это приводит к уменьшению частоты вращения турбины. В свою очередь, уменьшается противодействие движению рабочей жидкости по кругу циркуляции внутри гидротрансформатора. В результате скорость циркуляции возрастает, что автоматически приводит к увеличению крутящего момента на валу турбинного колеса (аналогично переходу на низшую передачу в механических КПП) до тех пор, пока не наступит равновесие между ним и моментом сопротивления движению. По аналогичной схеме работает автоматическая трансмиссия и при старте с места.

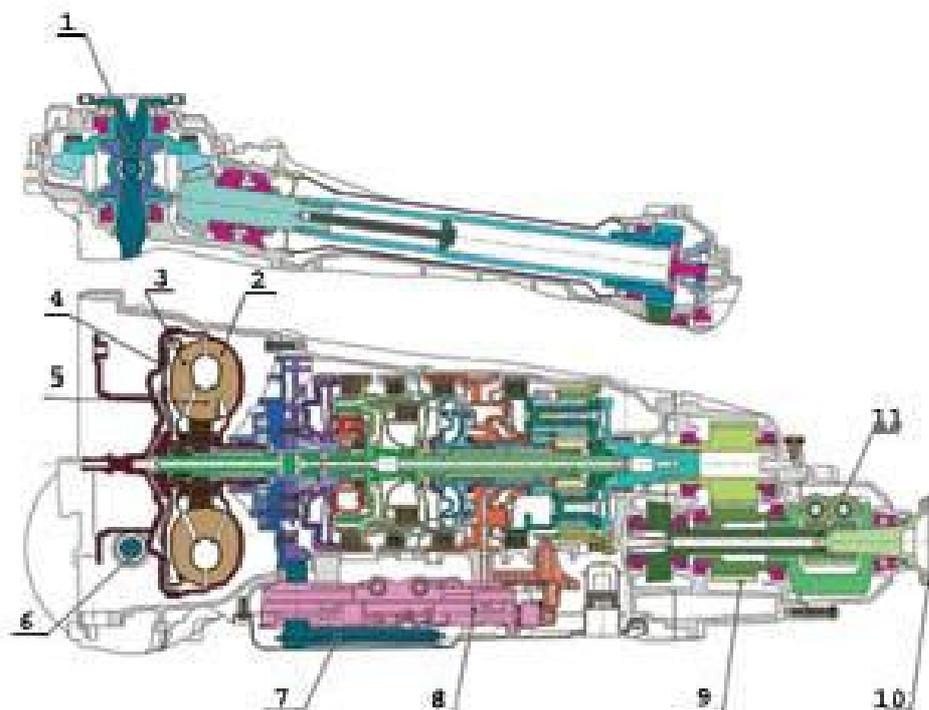
Когда автомобиль припаркован, турбинное колесо находится в неподвижном состоянии, однако внутреннее проскальзывание в гидротрансформаторе не мешало двигателю работать на холостом ходу. В этом слу-

чае крутящий момент трансформируется в максимально возможное число раз. Зато когда достигнута необходимая скорость, надобность в преобразовании крутящего момента отпадает. Гидротрансформатор посредством автоматически действующей блокировки превращается в звено, практически жестко связывающее ведущий и ведомый валы. Такая блокировка исключает внутренние потери, увеличивает значение КПД передачи, уменьшает расход топлива в установившемся режиме движения, а при замедлении повышает эффективность торможения двигателем. Кстати, одновременно с целью снижения все тех же потерь реактор может освободиться и вращаться вместе с насосным и турбинным колесом.

Зачем же к гидротрансформатору присоединяют КПП, если он сам способен изменять величину крутящего момента в зависимости от нагрузки на ведущие колеса?

### **АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРОБКА ПЕРЕДАЧ**

Особенность гидротрансформатора такова, что он не может изменять крутящий момент, а также скорость вращения выходного вала в широких пределах. Поэтому законно возникает необходимость в механизме, который смог бы изменять момент и частоту вращения в заданных пределах. Для этого и служит коробка передач. Кстати, необходимость в реверсе возникает постоянно, и без механики здесь не обойтись.



1-Межколесный дифференциал. 2-Насосное колесо. 3-Турбинное колесо. 4-Гидро-трансформатор. 5-Реактор. 6-Левая передняя полуось. 7-Маслоприемник с фильтром. 8-Блок управляющих клапанов. 9-Раздаточная коробка. 10-Фланец ведомого вала. 11-Межосевой дифференциал Torsen.

Рис. 2 - Продольный разрез автоматической коробки передач AUDI A8

Принцип работы и устройство АКПП аналогичны работе механических коробок с шестернями постоянного зацепления. В механической коробке передач шестерни находятся в постоянном зацеплении, при этом ведомые шестерни свободно вращаются на вторичном валу. Включая какую-либо передачу, мы механически блокируем соответствующую шестерню на ведомом валу. Работа автоматической коробки передач построена на таком же принципе. Если говорить упрощенно – около каждой шестерни стоит фрикционный пакет, состоящий из нескольких фрикционных элементов. Этот фрикционный пакет как раз и фиксирует шестерню на валу с помощью сил трения. Только в автоматической коробке **вместо косозубых пар шестерен**, как правило, применяются **планетарные передачи**. Как уже говорилось, кроме гидротрансформатора и планетарного механизма в состав КПП-автоматов входит масляный насос, снабжающий гидротрансформатор и гидравлический блок управления рабочей жидкостью. А также радиатор охлаждения рабочей жидкости.

Рабочая температура АКПП может быть сопоставима с температурой двигателя, а иногда может даже превышать ее. Поэтому автомобили с АКПП имеют специальную систему охлаждения, радиатор которой либо встроен в радиатор системы охлаждения двигателя, либо установлен отдельно и охлаждается воздушным потоком. На старых автомобилях с малым объемом двигателя можно встретить коробки, имеющие воздушную систему охлаждения. На корпусе гидротрансформатора имеется дополнительное внешнее ребрение, с помощью которого и организуется более эффективный отвод тепла.

Существенное отличие АКПП от обычных механических коробок заключается в том, что передачи в автоматах переключаются практически **без разрыва потока мощности** с помощью приводимых гидравликой многодисковых фрикционных муфт.

Сильные рывки при переключении передач практически исключены, поскольку их гасит уже упомянутый выше гидротрансформатор.

**За выбор передачи** отвечает гидравлический и электронный блоки управления АКПП. Водитель кроме нажатия на акселератор может влиять на процесс смены передач, выбрав зимний или спортивный алгоритм переключения или установив, например, при движении в сложных условиях селектор КПП в специальное положение, которое не позволяет автоматике переключаться выше определенной передачи.

### **РЕЖИМЫ РАБОТЫ АКП**

Рычаг выбора диапазона (РВД) работы коробки передач или «селектор» имеет несколько положений, которые имеют буквенное и цифровое обозначение. Количество этих положений у разных моделей автомобилей разное, но на всех автомобилях РВД обязательно имеет положения, обозначенные буквами «**P**», «**R**» и «**N**».

**ПОЗИЦИЯ «P»** выбирается при длительной стоянке автомобиля. В этом положении рычага в АКПП выключены все элементы управления, а ее выходной вал заблокирован, поэтому движение автомобиля невозмож-

но. На этом режиме разрешен запуск двигателя. А как насчет использования стояночного тормоза на стоянке? Для надежной фиксации автомобиля во время стоянки на относительно ровных участках исправного механизма блокировки выходного вала АКПП вполне достаточно. Но если автомобиль стоит на уклоне, то включение ручного тормоза обязательно. Причем первым необходимо затянуть ручной тормоз и только после этого установить рычаг переключения режимами коробки в положение «Р». В этом случае вы освобождаете от дополнительной нагрузки механизм блокировки выходного вала АКПП.

**ПОЗИЦИЯ «N»** – в этом случае, как правило, выключены все элементы управления. Механизм блокировки выходного вала при этом выключен, то есть автомобиль может свободно перемещаться. На этом режиме разрешен запуск двигателя.

При длительных остановках следует переводить рычаг в положение «N» в уличных пробках в жаркую погоду, для снижения тепловыделения и предотвращения перегрева масла коробки.

**ПОЗИЦИЯ «R»** – режим движения задним ходом. Перевод рычага в положение «R» во время движения вперед может привести к выходу из строя коробки передач. Если рычаг находится в этом положении, запуск двигателя невозможен.

Автомобили, оснащенные четырехскоростными коробками передач, обычно имеют четыре положения движения вперед: «D», «3», «2» и «1» («L»). Следует отметить, что в случае установки РВД в одно из этих положений запуск двигателя невозможен.

**ДИАПАЗОН «D»** – основной режим движения. Он обеспечивает автоматическое переключение с первой по четвертую передачу. В нормальных условиях движения рекомендуется использовать именно его.

**ДИАПАЗОН «3»** – разрешено движение на первых трех передачах. Рекомендуется использовать при движении по холмистой дороге или в условиях частых остановок.

**ДИАПАЗОН «2»** – разрешено движение только на первой и второй передачах. Рекомендуется использовать на извилистых горных дорогах. Переключение на третью и четвертую передачи запрещено.

**ДИАПАЗОН «1» («L»)** – разрешено движение только на первой передаче. Этот диапазон позволяет максимально реализовать тяговые возможности двигателя, поскольку передаваемый на колеса крутящий момент максимален именно на первой передаче. В этом режиме особенно эффективно торможение двигателем. Первая передача рекомендуется при движении на крутых подъемах и спусках.

На большинстве современных автомобилей с автоматической трансмиссией в систему управления заложено несколько вариантов управления переключением передач. К ним относятся — экономичная, спортивная, зимняя и т.п.

**ЭКОНОМИЧНЫЙ РЕЖИМ** обеспечивает движение с минимальным расходом топлива, поскольку двигатель на каждой из ступеней работает в

ограниченном скоростном диапазоне. При этом работа коробки передач и двигателя синхронизируется таким образом, что при включении очередной повышающей передачи двигатель начинает работать практически с холостых оборотов, и при дальнейшем разгоне обороты двигателя не доводятся до максимальных. Движение автомобиля в этом случае носит плавный, спокойный характер.

**СПОРТИВНЫЙ РЕЖИМ** позволяет максимально использовать мощность двигателя. Включение каждой последующей передачи происходит при частотах коленчатого вала, близких к частотам, на которых развивается максимальный крутящий момент. При дальнейшем ускорении частота вращения коленчатого вала доводится до максимальных значений, при которых двигатель развивает максимальную мощность. Таким образом, двигатель работает с наибольшей отдачей. То есть диапазон изменения частот на каждой ступени происходит от частоты, при которой максимален момент, до частоты, соответствующей максимальной мощности. Автомобиль в этом случае развивает, по сравнению с экономичной программой, значительно большие ускорения. Для реализации экономичной или спортивной программы на приборной панели или рядом с рычагом выбора диапазона расположена специальная кнопка или переключатель, которые в зависимости от марки автомобиля могут иметь обозначения «POWER», «S», «SPORT», «AUTO», «A/T MODE» и т.п.

**ЗИМНИЙ РЕЖИМ** – для его активизации имеется специальная кнопка или переключатель, которые могут иметь обозначения «WINTER», «W», «HOLD». Для того чтобы исключить проскальзывание колес при трогании на скользком покрытии, крутящий момент, передаваемый от двигателя к колесам, должен быть минимальным. Это осуществимо в том случае, если автомобиль будет трогаться либо со второй, либо с третьей передачи.

**АВАРИЙНЫЙ РЕЖИМ** активизируется в случае возникновения в трансмиссии или системе управления неисправности, которая может привести к серьезной поломке АКПП, блок управления начинает работать по программе защиты трансмиссии, что позволяет автомобилю добраться своим ходом до ремонтной мастерской или гаража.

Обычно в режиме защиты в коробке передач включается одна какая-либо передача и запрещены все переключения. Номер передачи, включаемой в защитном режиме, как правило, соответствует передаче, на которой все соленоиды переключения находятся в выключенном состоянии. Кроме того, в защитном режиме в основной магистрали устанавливается максимальное давление и запрещается блокировка гидротрансформатора.

**OVERDRIVE** – повышающая передача. Обозначается обычно как «OD» либо «D». Повышающую передачу рекомендуется использовать для размеренной, экономичной езды на магистрали.

**KICKDOWN** – режим, в который переходит система управления двигателем и коробкой для получения более высоких значений ускорения, например, при совершении обгона. Переход в режим KICKDOWN осуществ-

ляется при резком нажатии до упора педали управления дроссельной заслонкой, в коробке передач произойдет переключение на одну или две ступени вниз. При этом крутящий момент, передаваемый на колеса от двигателя, значительно возрастет, а двигатель в этот момент будет работать в диапазоне скоростей, при которых отдача близка к максимальной. Дальнейший переход к следующей повышающей передаче в этом случае может произойти только при достижении двигателем максимальных оборотов. Если отпустить педаль управления дроссельной заслонкой, то коробка передач перейдет в штатный режим работы.

### **АДАПТИВНЫЙ РЕЖИМ УПРАВЛЕНИЯ АКПП**

Развитие «электронных» АКПП привело к появлению адаптивных коробок передач. Разрабатываемые алгоритмы управления становятся все более интеллектуальными, что приводит к появлению новых качеств в тех же самых с механической точки зрения трансмиссиях.

Бортовой компьютер следит за манерой и особенностями управления водителем и подстраивает работу коробки передач и двигателя соответствующим образом. Если манера движения размеренная и плавная, компьютер делает соответствующие поправки, при которых двигатель не выводится на мощностные режимы работы, что положительно сказывается на расходе топлива. Как только водитель «занервничал» и начал производить частые и резкие нажатия на педаль газа, компьютер тут же понимает, что ускорения и обгоны нужно производить резвее. Двигатель на каждой из ступеней выводится в режим максимальных оборотов. Для обеспечения более резких ускорений система управления может осуществлять переключения на две, а то и на три ступени вниз. Интересно и то, что в алгоритм работы, как правило, заложен учет износа фрикционных элементов АКПП. Все это приводит не только к повышению комфортности поездки на автомобиле, но и к повышению его ресурса и экономичности.

**TIPTRONIC** – это система управления работой АКП, в которой наряду с автоматическим предусмотрен и полуавтоматический режим управления, при котором команду на переключение передачи дает водитель, а качество этих переключений обеспечивает система управления. В зависимости от производителя этот режим может иметь разные названия (Autostick, Steptronic, Tiptronic), реализуется он только на автомобилях, имеющих электронную систему управления АКП, и то не на всех. В автомобилях, оборудованных такой системой, рычаг переключения имеет специальное положение, в котором и активизируется этот режим. Относительно положения есть два противоположных, не фиксируемых положения. Эти положения имеют обозначения «+» («Up») и «-» («Dn»), соответственно для переключения на более высокую или более низкую передачу.

Режим Autostick является скорее полуавтоматическим, чем ручным, поскольку трансмиссионный компьютер не перестает контролировать действия водителя и не позволит ему, например, тронуться с высшей передачи или выбрать передачу таким образом, чтобы обороты двигателя превысили допустимые. В остальном же создается полная иллюзия механиче-

ской трансмиссии.

### **ЭКСПЛУАТАЦИЯ АКП**

Перед началом движения всегда следует нажать на педаль тормоза, перевести селектор в нужную позицию, не нажимая при этом на педаль управления дроссельной заслонкой. После легкого толчка можно отпустить педаль тормоза и начать движение, воздействуя для этого на педаль управления дроссельной заслонкой.

Первое время после начала движения рекомендуется избегать динамичной езды, пока масло во всех агрегатах не прогрелось до рабочей температуры. В холодное время года до начала движения не помешает немного прогреть масло в АКПП. Для этого необходимо переместить РВД во все положения, задерживаясь в каждом из них на несколько секунд. Затем включите один из диапазонов движения и несколько минут удерживайте автомобиль тормозом, двигатель при этом должен работать на холостых оборотах.

### **БУКСИРОВКА ПРИЦЕПА**

Здесь нужно помнить, что чем выше нагрузка, тем больше происходит выделения тепла в гидротрансформаторе. Если вы постоянно пользуетесь прицепом, подумайте об установке дополнительного радиатора в систему охлаждения АКПП. Кроме того, в случае длительного буксирования прицепа использование повышающей передачи нежелательно. Лучше это делать на диапазонах «3» или «2».

**ПЕРЕКЛЮЧАТЬ РЫЧАГ ВЫБОРА ДИАПАЗОНА НА ХОДУ** в положения «Р» и «R» категорически запрещено. В оба эти положения рычаг можно переводить только при полной остановке автомобиля. Нарушение этого правила может привести к серьезной поломке АКПП. Кроме того, не рекомендуется во время движения переводить РВД в положение «N», поскольку в этом случае теряется связь колес с двигателем, и резкое торможение может вызвать занос автомобиля. А во все остальные положения РВД можно спокойно переводить. В некоторых случаях это даже рекомендуется делать специально. Так, перевод РВД из положения «3» в положение «2» увеличит эффективность торможения двигателем.

### **МОЖНО ЛИ БУКСОВАТЬ НА МАШИНЕ С АКПП?**

Ничего криминального во время буксования в АКПП не происходит. Повышенное тепловыделение в гидротрансформаторе в этом случае может быть критичным, если система охлаждения имеет низкую эффективность (радиатор охлаждения АКПП засорен продуктами износа).

### **БУКСИРОВКА АВТОМОБИЛЯ С АКПП**

Здесь однозначных советов дать невозможно, лучше придерживаться рекомендаций данных в инструкции по эксплуатации. Тем не менее нужно помнить одно важное условие: **буксировка должна осуществляться при работающем двигателе и установке селектора в положение «N»**. Дело в том, что смазывание пар трения в АКПП осуществляется принудительно при помощи насоса. В том случае если коробка дала усомниться в ее исправности, нет уверенности в том, что насос развивает со-

ответствующее давление в масляной магистрали. Правда, косвенно работоспособность насоса оценить можно. Нужно сравнить уровень масла при заглушенном и работающем двигателе. Если уровень не меняется, смело вызывайте эвакуатор!!!

### **РЕМОНТ И ТЮНИНГ АКП**

Ранее очередь до автоматической коробки в плане тюнинга не доходила вовсе, теперь же это возможно. Что же можно изменить в алгоритме работы коробки, чтобы изменения пошли на пользу разгону? Отвечаем – скорость переключения. Время, выигранное благодаря более быстрому включению, несомненно, дает выигрыш при разгоне. Негативная сторона в этом, конечно же, есть. Во-первых, при переключении появляются ощутимые толчки, негативно сказывающиеся не только на комфорте, но и на долговечности ходовой части в целом. Во-вторых, мы ставим под угрозу целостность фрикционов, ясно, что повышенными динамическими нагрузками долговечности мы им не добавляем. Кроме того, основной проблемой при сокращении времени переключения является высокое тепловыделение, которое пропорционально уменьшению времени включения передачи. Добавьте к этому увеличенные мощность и крутящий момент после соответствующей доводки двигателя. Стоит ли говорить, что с увеличением тяговых характеристик двигателя, а также с повышением динамических нагрузок ресурс агрегатов трансмиссии снижается достаточно существенно. АКПП также не исключение, и самым слабым звеном, которому живется наиболее тяжело, являются многодисковые фрикционные пакеты. Так какой из этого вывод?

Вывод прост. Закономерно встает острая необходимость в применении фрикционных пакетов, обладающих большей надежностью и живучестью. Операция по замене фрикционных элементов, конечно же, проводится с полной разборкой агрегата.

Какие же фрикционы при этом применяются? Стандартные фрикционные пакеты заменяются на специальные, у которых увеличена площадь соприкосновения ведущих и ведомых частей пакета фрикционов. Возникает вопрос, как увеличить площадь при сохранении исходных габаритных размеров? Осуществляется это путем установки пакета из большего числа фрикционов, более тонких, рабочая часть коих выполнена из материалов, выдерживающих более высокие температуры, а также нагрузки на трение. Это могут быть кевларовые фрикционы, а также фрикционы, состоящие из специальных композитных материалов.

Нужно отдать должное, что готового решения по доводке АКПП в принципе не существует, каждая конструкция требует индивидуального подхода в силу своих особенностей.

Доводка трансмиссии, и в частности автоматических коробок, на сегодняшний день является наиболее интересным и перспективным направлением в области автомобильного тюнинга. Поэтому мы начинаем подготовку цикла статей, посвященных настоящему глубокому тюнингу трансмиссий, в которых мы вместе со специалистами тюнинговых ателье будем

подробно разбираться в особенностях доводки агрегатов трансмиссии. Несколько особняком будет стоять доводка автоматических коробок передач. Надеемся, что из этих материалов полезную информацию почерпнут как любители настоящего автомобильного тюнинга, так и те, кто занимается обслуживанием и доводкой автомобилей профессионально.

### 4.3 Устройство и работа различных типов автоматических коробок передач

**Автоматическая коробка передач** (сокращенное название **АКПП**, обиходное название – **коробка-автомат**) является самым распространенным устройством изменения крутящего момента, применяемым в автоматической трансмиссии автомобиля. Традиционно автоматической называют **гидромеханическую коробку передач**.

**Автоматическая коробка передач** имеет следующее устройство:

- гидротрансформатор;
- механическая коробка передач;
- насос рабочей жидкости;
- система охлаждения рабочей жидкости;
- система управления.

На коробках-автоматах, устанавливаемых на переднеприводные легковые автомобили, в конструкцию включены **главная передача** и **дифференциал**.

**Гидротрансформатор** предназначен для передачи и изменения крутящего момента от двигателя к механической коробке передач. Конструкция гидротрансформатора включает:

- насосное колесо;
- турбинное колесо;
- реакторное колесо;
- блокировочная муфта;
- муфта свободного хода;
- корпус гидротрансформатора.

**Насосное колесо** соединено с коленчатым валом двигателя. **Турбинное колесо** связано с механической коробкой передач. Между насосным и турбинным колесами располагается неподвижное **реакторное колесо**. Все колеса гидротрансформатора оснащены лопастями определенной формы, между которыми предусмотрены каналы для прохода рабочей жидкости.

**Блокировочная муфта** служит для блокировки гидротрансформатора в определенных режимах работы автомобиля. **Муфта свободного хода** (обгонная муфта) обеспечивает вращение жестко закрепленного реакторного колеса в противоположную сторону.

Все конструктивные элементы гидротрансформатора расположены в корпусе, который заполнен специальной рабочей жидкостью.

Работа гидротрансформатора осуществляется по замкнутому циклу. От насосного колеса поток жидкости передается на турбинное колесо, да-

лее на реакторное колесо. За счет конструкции лопастей реактора скорость потока усиливается. Поток направляется на насосное колесо и заставляет его вращаться быстрее, тем самым увеличивается величина крутящего момента. Максимальную величину крутящего момента гидротрансформатор развивает на минимальной скорости. С увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя, угловые скорости насосного и турбинного колес выравниваются, а поток жидкости меняет свое направление. При этом срабатывает муфта свободного хода и реакторное колесо начинает вращаться. Гидротрансформатор работает в режиме гидромуфты (передает только крутящий момент).

Блокировка гидротрансформатора происходит с дальнейшим ростом скорости, при этом замыкается блокирующая муфта, и передача крутящего момента от двигателя к механической коробке передач происходит напрямую.

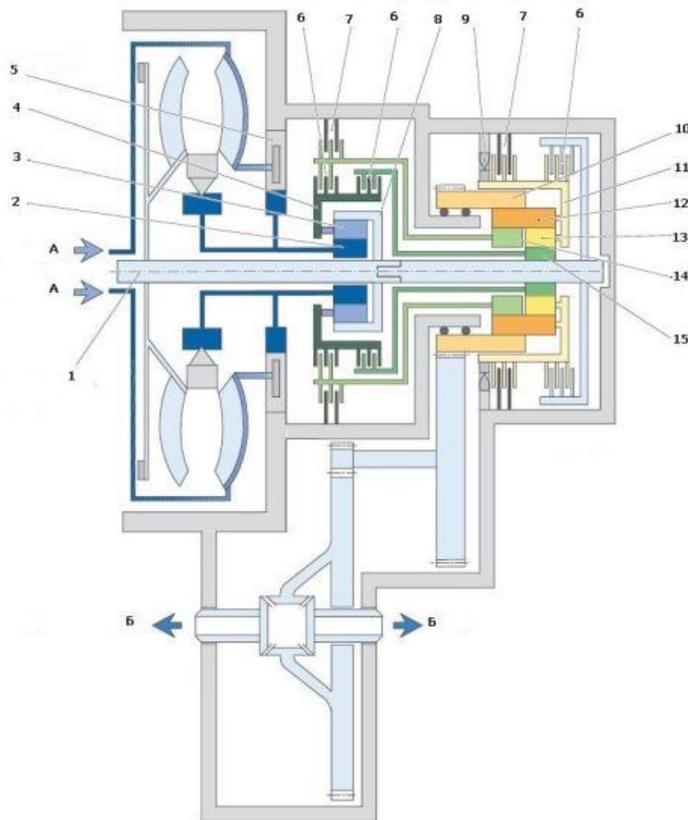
**Механическая коробка передач в составе АКПП** служит для ступенчатого изменения крутящего момента, а также обеспечивает движение автомобиля задним ходом. На автоматических коробках, как правило, применяются планетарные редукторы, отличающиеся компактностью и возможностью соосной работы. Механическая коробка передач состоит из нескольких (обычно двух) планетарных редукторов, соединенных последовательно для совместной работы. Объединение планетарных редукторов позволяет обеспечить необходимое число ступеней работы. Современные автоматические коробки выполняются шестиступенчатыми, семиступенчатыми (Mercedes) и даже восьмиступенчатыми (Lexus).

Планетарный редуктор в коробке передач имеет название **планетарный ряд**. Планетарный ряд имеет следующее устройство:

- солнечная шестерня;
- сателлиты;
- коронная шестерня;
- водило.

Передача вращения производится при условии блокировки одного или двух элементов планетарного ряда (солнечной шестерни, коронной шестерни, водила). Блокировку осуществляют соответствующие фрикционные муфты и тормоза. **Муфта** блокирует элементы планетарного ряда между собой и, тем самым, обеспечивает передачу крутящего момента. **Тормоз** удерживает конкретные элементы за счет соединения с корпусом коробки. Муфты и тормоза приводятся в действие с помощью гидроцилиндров, которые управляются из распределительного модуля. В конструкции коробки может применяться **обгонная муфта**, которая удерживает водило от вращения в противоположную сторону.

Таким образом, механизмами переключения передач в автоматической коробке являются фрикционные муфты и тормоза. Работа АКПП заключается в выполнении определенного алгоритма включения и выключения муфт и тормозов.



1. вал турбинного колеса
  2. солнечная шестерня одинарного планетарного ряда
  3. сателлиты одинарного планетарного ряда
  4. водило одинарного планетарного ряда
  5. шестеренный насос
  6. фрикционная муфта
  7. фрикционный тормоз
  8. коронная шестерня одинарного планетарного ряда
  9. обгонная муфта
  10. коронная шестерня сдвоенного планетарного ряда
  11. водило сдвоенного планетарного ряда
  12. длинные сателлиты сдвоенного планетарного ряда
  13. короткие сателлиты сдвоенного планетарного ряда
  14. большая солнечная шестерня сдвоенного планетарного ряда
  15. малая солнечная шестерня сдвоенного планетарного ряда
- А - подводимый крутящий момент  
 Б - отбор мощности

Рис. 3 - Схема автоматической коробки передач

Циркуляцию рабочей жидкости в автоматической коробке передач осуществляет **шестеренный насос**. Насос приводится в действие от ступицы гидротрансформатора.

**Охлаждение рабочей жидкости** в АКПП производит соответствующая **система**. Рабочая жидкость может охлаждаться в охладителе (теплообменнике), включенном в систему охлаждения двигателя. Ряд конструкций коробок имеет отдельный радиатор рабочей жидкости.

На современных автоматических коробках передач применяется **электронная система управления**, которая включает следующие конструктивные элементы:

- входные датчики;
- электронный блок управления коробкой передач;
- распределительный модуль;
- рычаг селектора.

В системе применяются следующие датчики:

- частоты вращения на входе коробки передач;
- частоты вращения на выходе коробки передач;
- температуры рабочей жидкости;
- положения рычага селектора;
- положения педали газа.

**Электронный блок управления коробкой передач** обрабатывает сигналы датчиков и формирует управляющие сигналы на распределительный модуль. В своей работе электронный блок реализует т.н. программу **«непрерывной логики»** (Fuzzy logic), предусматривающую гибкий алгоритм определения точек перехода на высшую или низшую передачу. Блок управления коробкой передач взаимодействуют с блоком управления двигателем, входящим в **систему управления двигателем**.

**Распределительный модуль** состоит из электромагнитных клапанов управления переключением передач, электромагнитных клапанов регулирования давления рабочей жидкости и золотников-распределителей выбора режимов работы. Работой электромагнитных клапанов управляет электронный блок управления коробкой передач. Золотники-распределители приводятся в действие посредством рычага селектора.

Непосредственное управление АКПП осуществляется **рычагом селектора**. Выбор нужного режима работы коробки производится перемещением рычага в определенное положение:

- **P** – режим парковки;
- **R** – режим заднего хода;
- **N** – нейтральный режим;
- **D** – движение вперед в режиме автоматического переключения передач;
- **S** – спортивный режим.

На отдельных коробках реализуется т.н. режим **«Кик-Даун»** (Kick-Down), предполагающий резкое ускорение автомобиля путем быстрого переключения передач.

Некоторые модели автоматических коробок оборудуются функцией ручного переключения передач, т.н. функция Типтроник (Tiptronic).

### **Роботизированная коробка передач**

**Роботизированная коробка передач** (другое наименование – **автоматизированная коробка передач**, обиходное название – **коробка-робот**) представляет собой механическую коробку передач, в которой

функции выключения сцепления и переключения передач автоматизированы. Автоматизация данных функций стала возможной за счет применения в управлении коробкой электронных компонентов.

Роботизированная коробка передач сочетает в себе комфорт автоматической коробки передач, надежность и топливную экономичность механической коробки передач. При этом «робот» в большинстве своем значительно дешевле классической АКПП.

В настоящее время практически все ведущие автопроизводители оснащают свои автомобили роботизированными коробками передач. Все коробки имеют свои запатентованные названия и различаются по конструкции. Вместе с тем, можно выделить следующее общее **устройство роботизированной коробки передач**:

- сцепление;
- механическая коробка передач;
- привод сцепления и передач;
- система управления.

Коробки-роботы могут иметь **электрический или гидравлический привод сцепления и передач**. В электрическом приводе исполнительными органами являются сервомеханизмы (электродвигатели). Гидравлический привод осуществляется с помощью гидроцилиндров. В зависимости от типа привода роботизированные коробки передач имеют устоявшиеся названия:

- собственно роботизированные коробки передач (*электронпривод*);
- секвентальные коробки передач (*гидропривод*).

Название "секвентальная" коробка получила от sequensum – последовательность, имеется ввиду последовательное переключение передач в ручном режиме.

Во многих источниках информации коробки передач носят одно общее название – роботизированные.

**Электрический привод** сцепления и передач имеют следующие конструкции коробок:

- **Easytronic** от Opel;
- **MultiMode** от Toyota.

Значительно больше конструкций «роботов» имеют **гидравлический привод**:

- **SMG, DCT M Drivelogic** от BMW;
- **DSG** от Volkswagen;
- **S-Tronic** от Audi;
- **Senso Drive** от Citroen;
- **2-Tronic** от Peugeot;
- **Dualogic** от Fiat.

**Система управления** роботизированной коробкой передач включает следующие конструктивные элементы:

- входные датчики;

- электронный блок управления;
- исполнительные механизмы коробки передач.

В роботизированных коробках с гидравлическим приводом в систему управления также включен **гидравлический блок управления**, который обеспечивает непосредственное управление гидроцилиндрами и давлением в системе.

**Принцип работы роботизированной коробки передач** заключается в следующем. На основании сигналов входных датчиков электронный блок управления формирует алгоритм управления коробкой в зависимости от внешних условий и реализует его через исполнительные механизмы.

На всех роботизированных коробках предусмотрен режим ручного переключения передач, аналогичный функции Tiptronic.

Основным недостатком роботизированных коробок передач является большое время переключения передач (до 2 с), что приводит к провалам и рывкам в динамике автомобиля и снижает комфорт от управления транспортным средством. Решение указанной проблемы было найдено в применении коробки передач с двумя сцеплениями, что обеспечило переключение передач без разрыва потока мощности.

Данное техническое решение реализовано в коробках DSG, S-Tronic (время переключения передач 0,2-0,4 с), а также коробках SMG и DCT M Drivelogic (время переключения передач 0,1с), устанавливаемых на спортивные автомобили фирмы BMW.

В настоящее время самыми распространенными и технически совершенными являются роботизированные коробки передач DSG и S-Tronic. Коробка S-Tronic является аналогом коробки DSG, но в отличие от нее устанавливается на задне- и полноприводные автомобили.

На автоматизированных коробках SMG и DCT M Drivelogic в системе управления реализуется **функция Drivelogic**, которая предполагает одиннадцать программ переключения передач. Шесть программ выполняются в режиме ручного переключения, а пять являются автоматизированными программами переключения передач. Данная функция позволяет адаптировать смену передач под стиль вождения конкретного человека. По сути, данные коробки являются **адаптивными коробками передач**.

### **Роботизированная коробка передач DSG**

**Роботизированная коробка передач DSG** (Direct Shift Gearbox) является в настоящее время самой совершенной автоматизированной коробкой, устанавливаемой на массовые модели легковых автомобилей.

Коробка DSG обеспечивает переключение передач без разрыва потока мощности, что значительно повышает ее потребительские качества по сравнению с другими «роботами».

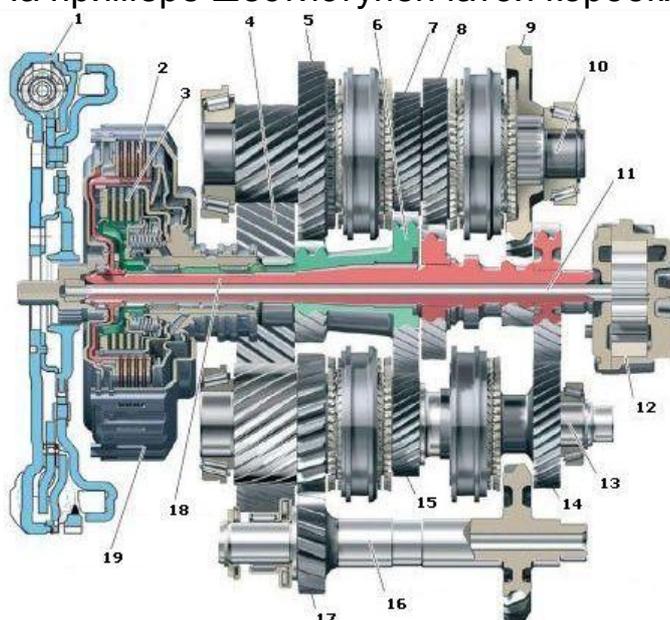
Непрерывная передача крутящего момента от двигателя к ведущим колесам достигнута за счет применения двух сцеплений и соответствующих им двух рядов передач. Коробка передач DSG имеет шестиступенчатую и семиступенчатую конструкции. **Семиступенчатая коробка** (крутя-

щий момент до 250 нм) устанавливается на легковые автомобили В, С и некоторые модели D класса. **Шестиступенчатая коробка** передает крутящий момент до 350 нм и устанавливается на более мощных машинах.

Коробка передач DSG имеет следующее **устройство**:

- двойное сцепление;
- первый ряд передач;
- второй ряд передач;
- главная передача;
- дифференциал;
- система управления коробкой передач;
- корпус (картер) коробки.

На примере шестиступенчатой коробки передач



1. двухмассовый маховик
2. первая фрикционная муфта
3. вторая фрикционная муфта
4. ведомая шестерня главной передачи
5. ведомая шестерня 2 передачи
6. первичный вал второго ряда
7. ведомая шестерня 4 передачи
8. ведомая шестерня 3 передачи
9. ведомая шестерня 1 передачи
10. вторичный вал 1
11. вал масляного насоса
12. масляный насос
13. вторичный вал 2
14. ведомая шестерня 5 передачи
15. ведомая шестерня 6 передачи
16. ось шестерни заднего хода

17. шестерня заднего хода
18. первичный вал первого ряда
19. сдвоенное сцепление

Рис. - Схема роботизированной коробки передач DSG

**Двойное сцепление** обеспечивает передачу крутящего момента на первый и второй ряды передач. Сцепление включает ведущий диск, соединенный через входную ступицу с маховиком, и две фрикционные многодисковые муфты, связанные через главную ступицу с рядами передач.

На шестиступенчатой коробке передач **двойное сцепление «мокрого» типа**, т.е. постоянно находится в масле. Семиступенчатая коробка имеет **сухое сцепление**, что позволяет значительно уменьшить объем заправляемого масла (с 6.5 л до 1.7 л), снизить энергозатраты и повысить топливную экономичность двигателя. С этой же целью на семиступенчатой коробке масляный насос с гидравлическим приводом заменен на более экономичный **электрический насос**.

**Первый ряд** коробки обеспечивает работу нечетных передач и заднего хода, **второй ряд** отвечает за четные передачи. Каждый из рядов передач представляет собой первичный и вторичный валы с блоками шестерен. **Первичные валы** расположены соосно, при этом первичный вал второго ряда выполнен полым и надет на первичный вал первого ряда.

**Шестерни** на первичных валах имеют жесткое соединение с валом. Шестерни вторичных валов вращаются свободно. При этом шестерни первичного и вторичного валов находятся в постоянном зацеплении. Между шестернями вторичного вала расположены **муфты синхронизаторов**, которые осуществляют включение конкретной передачи. Для выполнения реверсивного движения в коробке передач предусмотрен **промежуточный вал** с шестерней заднего хода. На **вторичных валах** также расположены ведущие шестерни главной передачи.

Для управления сцеплением и переключения передач предназначена **система управления коробкой передач**. Система управления включает:

- входные датчики;
- электронный блок управления;
- электрогидравлический блок управления;
- исполнительные механизмы.

Электронный и электрогидравлический блоки управления, а также практически все входные датчики, объединены в единый модуль, имеющий название **Mechatronic**. Модуль управления располагается непосредственно в картере коробки передач.

**Входные датчики** отслеживают частоту вращения на входе и выходе коробки передач, давление и температуру масла, а также положение вилок включения передач. **Электронный блок управления** на основании сигналов датчиков реализует, заложенный в него, алгоритм управления коробкой передач.

**Электрогидравлический блок управления** обеспечивает работу гидравлического контура управления коробкой передач. В него входят

следующие элементы:

- золотники-распределители;
- электромагнитные клапана;
- клапана регулирования давления;
- мультиплексор.

**Золотники-распределители** приводятся в действие рычагом селектора. **Электромагнитные клапаны** осуществляют переключение передач. **Клапаны регулирования давления** обеспечивают работу фрикционных муфт. Электромагнитные клапаны и клапаны регулирования давления являются **исполнительными механизмами** системы управления коробкой передач.

В коробке применено устройство **мультиплексор**, которое позволяет управлять восьмью гидроцилиндрами переключения передач только с помощью четырех электромагнитных клапанов. В исходном положении мультиплексора работают одни гидроцилиндры, в рабочем – другие, при этом в обоих режимах общие электромагнитные клапаны.

**Принцип работы коробки передач DSG** заключается в последовательном включении передач обоих рядов. При этом во время работы одной передачи, следующая передача уже выбрана и готова к включению.

### **Вариатор**

**Вариатор** (обиходное название – вариаторная коробка передач) является бесступенчатой коробкой передач, т.е. обеспечивает в заданном диапазоне плавное изменение передаточного числа.

Основное преимущества вариатора по сравнению с другими коробками заключается в эффективном использовании мощности двигателя за счет оптимального согласования нагрузки на автомобиль с оборотами коленчатого вала, тем самым достигается высокая топливная экономичность.

Вариаторная коробка передач имеет общепризнанное название (аббревиатуру) CVT – Continuously Variable Transmission (в переводе – постоянно изменяющаяся трансмиссия). Ввиду ограничений по мощности вариаторы на сегодняшний день применяются только на легковых автомобилях, правда диапазон их использования вследствие технического прогресса постоянно расширяется.

Вариаторная коробка передач имеет следующее общее устройство:

- механизм, обеспечивающий разъединение коробки передач от двигателя (нейтральное положение коробки передач);
- собственно вариатор (вариаторная передача);
- механизм, обеспечивающий движение задним ходом;
- система управления.

Для разъединения вариатора от двигателя использоваться следующие механизмы:

- центробежное автоматическое сцепление (вариатор Transmatic);
- электромагнитное сцепление с электронным управлением (вариатор

тор Hyper на автомобилях Nissan);

– многодисковое мокрое сцепление с электронным управлением (вариатор Multitronic на автомобилях Audi, вариаторы на автомобилях Honda);

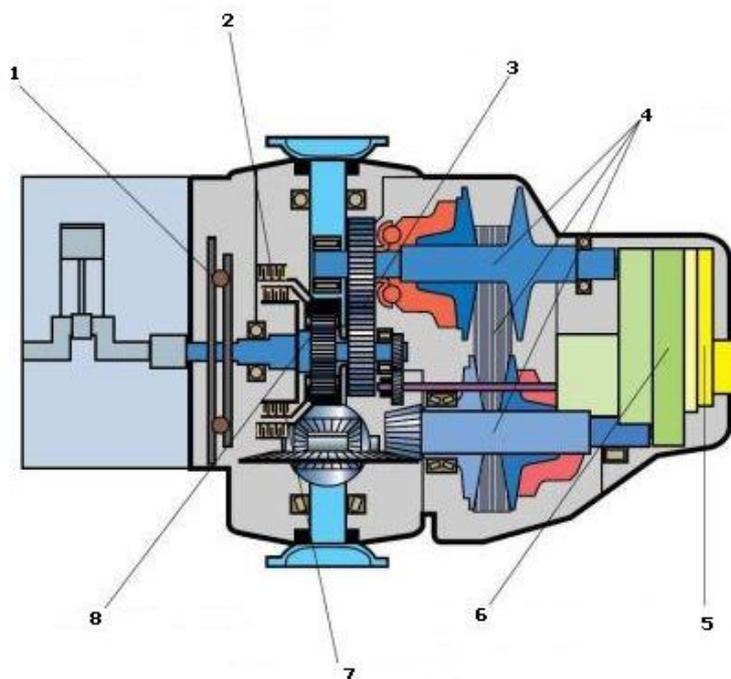
– гидротрансформатор (вариатор Ecotronic на автомобилях Ford, вариатор Extroid на автомобилях Nissan, вариатор Lineartronic на автомобилях Subaru).

Из всего многообразия различных видов вариаторов на автомобилях нашли применение только два вида:

клиноременный вариатор;

тороидный вариатор.

### Схема клиноременного вариатора



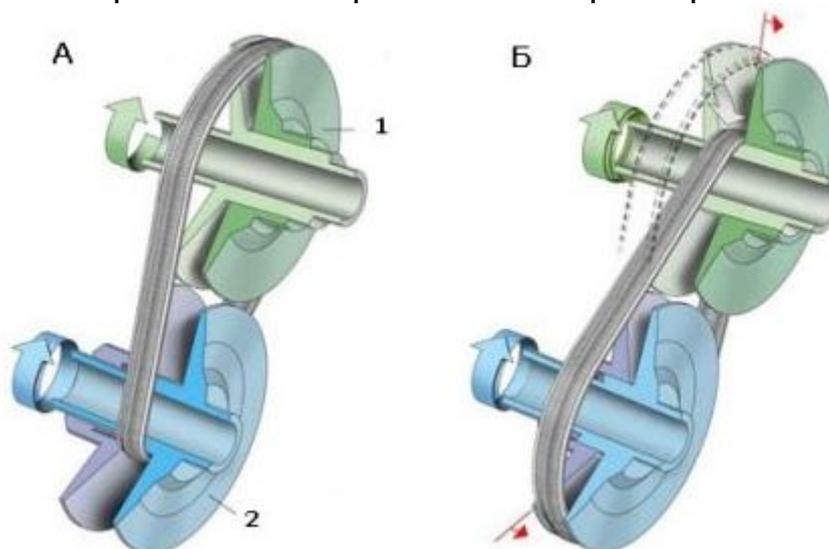
1. маховик с демпфером крутильных колебаний
2. фрикцион заднего хода
3. промежуточная передача
4. вариатор
5. электронный блок управления
6. гидравлический блок управления
7. фрикцион переднего хода
8. планетарный механизм

Клиноременный вариатор состоит из одной или двух ременных передач. Передача включает два шкива, соединенные клиновидным ремнем. Шкив образуют два конических диска, которые могут сдвигаться или раздвигаться, обеспечивая тем самым изменение диаметра шкива. Ремень изготавливается из металлических пластин конической формы. Передача вращения осуществляется за счет сил трения между шкивами и боковой поверхностью клиновидного ремня.

На вариаторах Multiironic, Lineartronic вместо ремня применена ме-

таллическая цепь. Такие вариаторы имеют название клиноцепной вариатор.

Схема работы клиноременного вариатора



А Понижающая передача

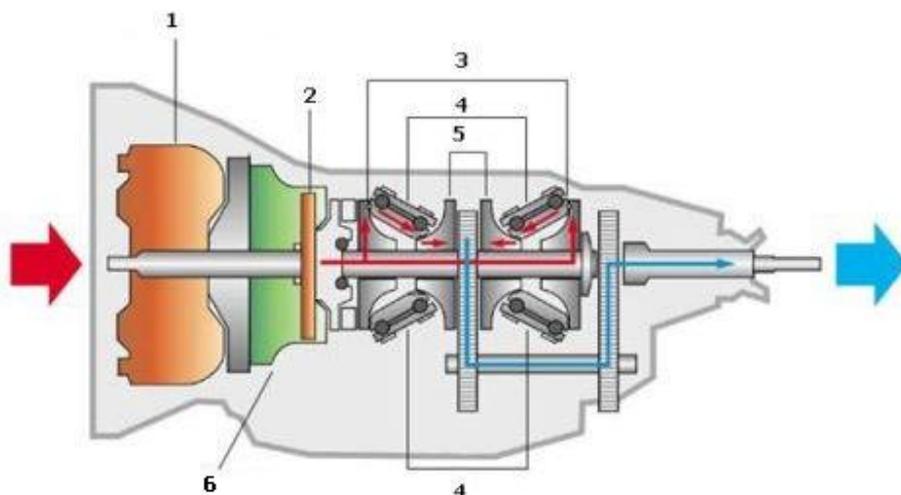
Б Повышающая передача

1. ведомый шкив

2. ведущий шкив

Принцип работы клиноременного вариатора заключается в согласованном изменении диаметров шкивов в зависимости от режимов работы двигателя. Диаметр шкива изменяется с помощью специального привода. В начале движения автомобиля ведущий шкив вариатора имеет наименьший диаметр (конические диски максимально разжаты). Ведомый диск при этом имеет максимальный диаметр (конические диски максимально сжаты). При увеличении числа оборотов двигателя диаметр ведущего шкива увеличивается, а ведомого – уменьшается, соответственно и уменьшается передаточное число. При дальнейшем разгоне вариатор поддерживает оптимальные обороты двигателя, при которых реализуется максимальная мощность и обеспечивается наилучшая динамика автомобиля.

Схема тороидного вариатора



1. гидротрансформатор
2. шестерни заднего хода
3. ведущие диски
4. ролики
5. ведомые диски
6. насос

Тороидный вариатор включает два соосных вала со сферической (тороидной) поверхностью, между которыми зажаты ролики. Изменение передаточного числа в тороидном вариаторе производится за счет изменения положения роликов, а передача крутящего момента за счет сил трения между рабочими поверхностями колес и роликов. Самым известным тороидным вариатором является вариатор Extroid, устанавливаемый на автомобили фирмы Nissan.

В силу особенностей конструкции вариаторная передача не может обеспечить реверсивного движения. Для осуществления движения задним ходом в коробке передач применяются дополнительные механизмы. В качестве такого механизма обычно выступает планетарный редуктор. Устройство и принцип работы планетарного редуктора изложены в статье автоматическая коробка передач.

На вариаторной коробке передач применяется, как правило, электронная система управления, которая выполняет следующие функции:

- осуществление синхронного изменения диаметра шкивов вариатора в соответствии с режимами работы двигателя;
- управление сцеплением;
- обеспечение работы планетарного редуктора.

Непосредственное управление вариатором производится с помощью рычага селектора. Режимы управления аналогичны режимам автоматической коробки передач. В вариаторной коробке передач может быть реализована функция выбора фиксированных передаточных отношений (аналогичная функции Tiptronic). Данная функция решает в основном психологическую проблему, связанную с использованием вариатора на автомобиле,

а именно - негативное восприятие водителем постоянной частоты вращения двигателя при разгоне.

### **Коробка передач Мультиатроник (Multitronic)**

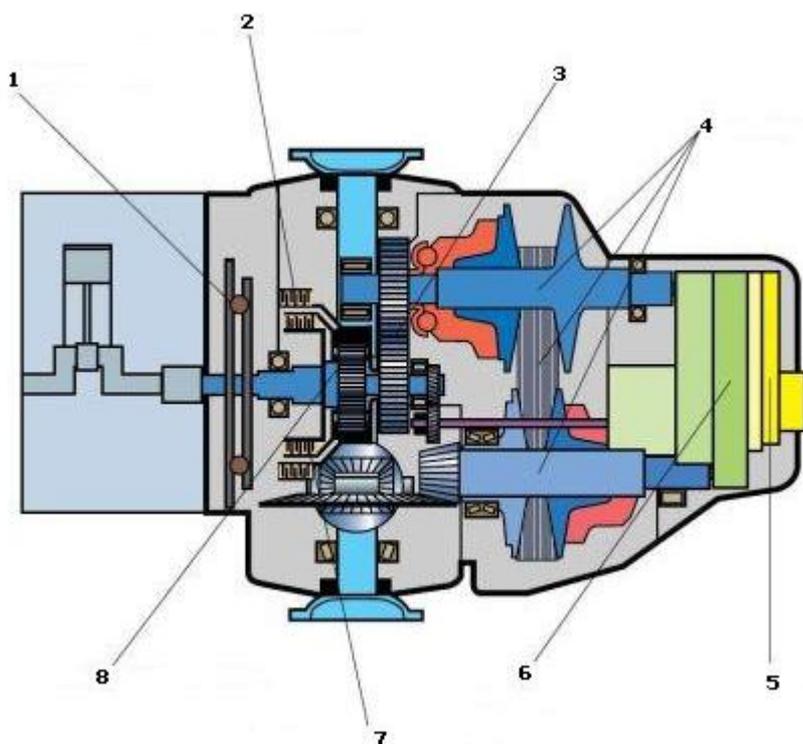
**Коробка передач Мультиатроник** (торговая марка **Multitronic**) является самой совершенной на сегодняшний день бесступенчатой коробкой передач. Применение данной коробки обеспечивает максимальную динамичность автомобиля, высокую топливную экономичность двигателя и комфорт в управлении транспортным средством. Благодаря высоким потребительским качествам вариаторная коробка передач устанавливается на автомобили премиум-класса **Audi** (модели A4, A5 и A6).

Коробка передач Мультиатроник имеет следующее устройство:

- многодисковое мокрое сцепление;
- планетарный механизм;
- промежуточная передача;
- вариатор (вариаторная передача);
- главная передача;
- дифференциал;
- система управления коробкой передач;
- картер коробки передач.

Функцию разъединения двигателя от коробки передач в системе Multitronic выполняют два мокрых (работающих в масле) **многодисковых сцепления**. Сцепления представляют собой многодисковые фрикционные муфты – фрикционы: фрикцион переднего хода и фрикцион заднего хода. Конструкция фрикционных муфт аналогична муфтам, применяемым для переключения передач в АКПП.

В коробке передач предусмотрено принудительное охлаждение фрикционов отдельным потоком рабочей жидкости. Фрикционные муфты имеют существенные преимущества по сравнению с гидротрансформатором, выполняющим аналогичную функцию. Они обладают меньшей массой, компактны и проще в управлении.



1. маховик с демпфером крутильных колебаний
2. фрикцион заднего хода
3. промежуточная передача
4. вариатор
5. электронный блок управления
6. гидравлический блок управления
7. фрикцион переднего хода
8. планетарный механизм

Схема коробки передач Мультиатроник (Multitronic)

**Планетарный механизм** используется только для движения задним ходом. При движении автомобиля вперед происходит блокировка редуктора фрикционом переднего хода. При движении назад – фрикцион заднего хода блокирует коронную шестерню редуктора на корпус коробки передач, вследствие чего планетарный редуктор движется в противоположную сторону. Скорость движения задним ходом ограничивается системой управления.

**Вариатор** обеспечивает плавное изменение передаточного числа. Он состоит из следующих конструктивных элементов:

- ведущий шкив;
- ведомый шкив;
- цепь.

Каждый из **шкивов** представляют собой **два диска** с конической поверхностью. Ведущий диск соединяется с коленчатым валом двигателя через промежуточную передачу. С ведомого диска крутящий момент направляется на главную передачу. Один из дисков на каждом шкиве подвижен. Это позволяет в процессе работы изменять диаметр шкива.

В вариаторе Мультитроник впервые применена **металлическая цепь**. Данное техническое решение позволило значительно расширить диапазон передаточных чисел за счет уменьшения поверхности соприкосновения цепи со шкивом (в сравнении с клиновидным ремнем). Снижение шума при работе металлической цепи достигнуто путем использования звеньев различного размера.

**Привод** каждого из шкивов состоит из двух гидроцилиндров – прижимного и регулировочного. Прижимной гидроцилиндр непосредственно прижимает цепь к дискам шкива. Регулировочный гидроцилиндр обеспечивает изменение диаметра шкива, т.е. регулирует передаточное отношение. Сила, с которой диски прижимаются к цепи, контролируется **датчиком крутящего момента**. Датчик установлен на ведущем диске.

Так как вариатор Multitronic устанавливается на переднеприводные автомобили, в конструкцию коробки передач включены главная передача и дифференциал.

**Система управления** коробкой передач включает следующие элементы:

- гидравлический блок управления;
- входные датчики;
- электронный блок управления.

**Гидравлический блок управления** осуществляет непосредственное управление фрикционными переднего и заднего хода, прижимными и регулировочными цилиндрами, регулирует давление рабочей жидкости в системе, а также производит охлаждение фрикционов. В гидравлическом блоке имеются:

- золотник ручного управления;
- гидравлические клапаны;
- электромагнитные клапаны управления давлением.

Циркуляцию рабочей жидкости в системе обеспечивает **масляный насос** шестеренного типа, который имеет привод от первичного вала. Для охлаждения фрикционов применяется **эжекционный насос**, действие которого основано на подаче рабочей жидкости за счет разрежения. Охлаждение рабочей жидкости производится в масляно-водяном **теплообменнике**, включенном в систему охлаждения двигателя.

К **входным датчикам** системы управления коробкой передач относятся:

- датчик положения рычага селектора;
- датчик числа оборотов на входе коробки передач;
- датчик числа оборотов на выходе коробки передач;
- датчик температуры рабочей жидкости;
- датчик давления рабочей жидкости.

**Электронный блок управления** служит для выбора оптимального передаточного отношения в соответствии с условиями движения и желаниями водителя. На основании сигналов датчиков электронный блок управления вычисляет величину давления рабочей жидкости и реализует

это давление путем воздействия на электромагнитные клапаны. Блок управления установлен непосредственно на коробке передач.

Коробка передач Мультиатроник имеет механическую связь с **рычагом селектора**. Режимы управления коробкой передач аналогичны режимам АКПП. В данной коробке реализован режим **«Кик-Даун» (Kick-Down)**, предполагающий быстрое ускорение автомобиля. Используется функция выбора фиксированных передач Типтроник (Tiptronic).

### **Функция автоматической коробки передач Типтроник (Tiptronic)**

**Типтроник (Tiptronic)** является запатентованным торговым названием функции (режима) ручного переключения передач, реализуемой в автоматической коробке передач. Помимо потребительских качеств, данная функция позволяет контролировать динамику автомобиля при определенных режимах работы двигателя (торможение двигателем и др.), чего не может обеспечить автоматическая коробка передач.

**Функция Tiptronic** применяется на автоматических коробках передач, устанавливаемых на автомобили концерна **Volkswagen** (VW, Audi, Skoda, Seat, Porsche), а также на роботизированных коробках передач DSG, S-Tronic и вариаторе Multitronic. Вместе с тем, название Типтроник, благодаря широкому распространению ручного режима на автоматических коробках передач, стало нарицательным.

В ряде источников информации Tiptronic (по аналогии с другими «трониками») представляют отдельной конструкцией автоматической коробки передач, что по сути неверно. Типтроник является только функцией АКПП.

Аналогичная функция под названием **Стептроник (Steptronic)** реализуется на автомобилях **BMW**.



**Режим Tiptronic** осуществляется посредством рычага селектора автоматической коробки передач. Для этого в кулисе селектора предусмотрен специальный вырез со знаками «+» и «-». В ряде комплектаций автомобилей на рулевом колесе устанавливаются переключатели передач (т.н. подрулевые «лепестки»).

Функция реализуется с помощью специальной программы, заложенной в электронный блок управления коробкой передач. Работу системы Типтроник обеспечивают следующие устройства:

- датчики в селекторе коробки передач;
- переключатели на рулевом колесе.

В селекторе коробки передач может устанавливаться от одного до трех (в зависимости от конструкции) датчиков: один – для включения режима, другой – для переключения на высшую передачу и третий – для переключения на низшую передачу. Сигналы от датчиков и переключателей передаются в электронный блок управления, где запускается соответствующая программа. Блок управления, в свою очередь, дает команды на переключения передач.

При нажатии на подрулевые «лепестки» система управления переводит коробку в ручной режим, минуя переключение рычага селектора. После использования переключателей по истечении определенного времени система управления самостоятельно переводит коробку в автоматический режим.

На коробке передач Multitronic функция Tiptronic осуществляется за счет программирования **фиксированных передаточных чисел** в вариаторе.

#### 4.4 Диагностика АКПП

Первичная диагностика без применения спец. оборудования вкл. следующие этапы:

- 1 Проверка уровня трансмиссионной жидкости
- 2 Оценка состояния АКПП по внешнему виду трансмиссионной жидкости
- 3 Оценка состояния АКПП при движении автомобиля
- 4 Проверка состояния гидротрансформатора
- 5 Посторонние шумы в АКПП

Для большинства коробок оптимальным является уровень масла, находящийся между метками ADD и FULL на щупе гидравлической системы АКПП, при нормальной рабочей температуре масла 66 - 93С. Такая температура достигается после пробега автомобилем минимум 13-25 км. Примечание. Если автомобиль эксплуатировался длительное время на высоких скоростях или при высокой температуре окружающего воздуха, правильно уровень масла в АКПП может быть измерен только через 30 минут после остановки двигателя автомобиля. Это время необходимо для остывания масла.

Уровень масла в АКПП может быть проверен как при нормальной рабочей температуре масла, так и при его комнатной температуре. При проверке уровня масла и его доведении при необходимости до оптимального путем доливания масла следует внимательно следить за тем, чтобы не переполнить гидравлическую систему АКПП излишним маслом, что приводит к его вспениванию и выливаю наружу через сапун.

1. Автомобиль устанавливается на ровной горизонтальной поверхности, двигатель работает на оборотах холостого хода, колеса заблокирова-

ны тормозом. Удерживая нажатой педаль тормоза, водитель последовательно перемещает рычаг переключения передач во все его положения с целью заполнения магистралей гидравлической системы АКПП маслом.

2. Рычаг переключения передач установить в положение Р (паркинг). На некоторых моделях АКПП рычаг устанавливается в положение N (нейтраль). Отпустить педаль тормоза. Извлечь из заливной горловины АКПП измерительный щуп, вытереть его насухо и снова вставить в горловину до упора.

3. Извлечь щуп из горловины и проверить по нему уровень масла. Уровень должен находиться между метками ADD и FULL на щупе. При необходимости долить масло. После каждого доливания провести операции по пп. 1,2 и после этого снова замерить уровень масла.

4. Установить щуп в горловину до упора так, чтобы он своей крышкой плотно уплотнял ее во избежание попадания в АКПП грязи, воды и т. д.

Методика измерения уровня масла при его комнатной температуре (масло холодное) точно такая же, как и при его нормальной рабочей температуре. Только уровень масла на щупе в этом случае должен находиться на уровне метки ADD. Примечание. Многие щупы имеют либо одну, либо две метки в виде ямочек или сквозных отверстий для обозначения уровня холодного масла, другие же имеют метки в виде надписей COLD (холодный) и HOT (горячий) для обозначения уровня соответственно холодного и разогретого до нормальной рабочей температуры масла. Внимание! При измерении уровня холодного масла и доведении его уровня до оптимального следует быть особо внимательным, чтобы не переполнить гидравлическую систему АКП излишним маслом. Помните, что уровень по щупу масла при доведении его температуры до нормальной рабочей выше уровня такого же количества холодного масла на 0,6 - 0,7 см.

Проблемы, связанные с переполнением гидравлической системы АКП. Когда гидравлическая система АКПП переполнена излишним маслом, вращение с большой скоростью внутренних узлов АКПП приводит к вспениванию масла. Вспененное масло из-за находящегося в нем воздуха не может с нужным усилием сжать между собой ведущие и ведомые диски в пакетах фрикционов, что приводит к их пробуксовке и сгоранию, то есть выходу АКПП из строя. Подобная ситуация наблюдается в тормозной системе автомобиля при попадании в нее воздуха. Вспененное масло также вытекает из АКПП наружу через сапун.

Проблемы, связанные с недостаточным количеством масла в гидравлической системе АКПП. Из-за недостаточного количества масла в поддоне АКПП масляный насос закачивает в магистрали гидравлической системы АКПП масло вместе с воздухом. Аналогично сказанному выше, масло не сжимает как надо диски фрикционов. Результат тот же - пробуксовка дисков относительно друг друга и их сгорание.

### **Оценка состояния АКПП по внешнему виду трансмиссионной жидкости**

Трансмиссионная жидкость или масло (в английском варианте -

automatic transmission fluid или сокращенно - ATF) в АКПП выполняют сразу несколько функций, а именно: - передают крутящий момент от насосного колеса гидротрансформатора соединенного с двигателем к турбинному колесу, соединенному с входным валом АКПП; - являются рабочим телом, под давлением которого сжимаются между собой ведущие и ведомые диски в пакетах фрикционов, включаются сервоприводы, зажимающие тормозные ленты, что дает возможность включать (выключать) различные передачи в АКПП; - осуществляют смазку шестерен, подшипников и вкладышей; - осуществляют теплоотвод от АКПП при ее работе. Наиболее распространенными марками трансмиссионных жидкостей являются DEXRON II, DEXRON III. Фирмы - производители, выпускающие трансмиссионные масла под другими названиями, обычно указывают, что их продукция соответствует стандарту DEXRON.

О состоянии АКПП многое может сказать цвет и запах ее трансмиссионной жидкости (масла). В исправной АКПП масло имеет густо - красный или оранжево - красный цвет. Темно - коричневый или черный цвет масла в сочетании с его горелым запахом убедительно свидетельствует о явных неполадках в коробке. Примечание. Если на начальной стадии работы АКПП после запуска двигателя масло приобретает коричнево - зеленоватый оттенок и неприятный, но не горелый запах, это считается нормальным и не является признаком каких - либо неисправностей в АКПП.

При разрушении фрикционов, тормозных лент, вкладышей, шестерен в масле будут присутствовать частицы металла, черные или коричневые частицы разрушенного фрикционного слоя. Какая - то часть всего этого обязательно осядет на щупе вместе с маслом. Если же масло на вытаскиваемом из АКПП щупе имеет вид бело - розовой эмульсии, это является признаком того, что в масло попали вода или антифриз. При обнаружении таких признаков необходимо снять масляный поддон АКПП и тщательно его исследовать на предмет каких - либо отложений. Если масло в поддоне грязное или разжиженное, или в нем присутствуют твердые частицы чего - либо, АКПП подлежит немедленному снятию, разборке, чистке и ремонту. Кроме того, обязательно необходимо промыть систему охлаждения АКП.

### **Оценка состояния АКП при движении автомобиля**

Задача обнаружения неисправности в АКПП значительно упрощается, если водитель автомобиля с АКПП насколько возможно подробно в меру своих технических знаний и водительского опыта расскажет специалисту о симптомах "недомогания" коробки, будь то подозрительные шумы, подтекание масла, недостаточно резвый разгон автомобиля или рывки при переключении передач. В интересах владельца, прежде всего экономических, при обнаружении малейших неисправностей немедленно обратиться к специалисту. Да, диагностика АКПП будет чего - то стоить, но на порядок меньше ремонта "полетевшей" по недосмотру коробки. Не стесняйтесь задавать спецам вопросы об особенностях конструкции, обслуживания, эксплуатации и даже об особенностях вождения именно Вашего автомобиля

с именно такой АКПП. Следование рекомендациям профессионалов не будет стоить Вам ничего, а "жизни" Вашей коробке добавит существенно и Ваших средств сэкономит достаточно.

### **Проверка состояния гидротрансформатора**

Наиболее характерными неисправностями гидротрансформатора (ГТ), которые обнаруживаются при движении автомобиля, являются либо разблокировка обгонной муфты (one - way clutch), когда она свободно вращается вокруг своей оси в обоих направлениях, либо ее полное заклинивание. Напомним, что исправная обгонная муфта должна вращаться, но только в одном направлении. Признаком того, что обгонная муфта свободно вращается в обоих направлениях, является плохой разгон автомобиля с места до скорости примерно 30-45 миль/ч (48-72 км/ч). После достижения автомобилем такой скорости АКПП в дальнейшем работает нормально. Чтобы проверить, что причина именно в ГТ, а не в двигателе, поступите следующим образом. Остановив рычаг переключения передач в положение N (нейтраль), нажатием педали газа увеличивайте обороты двигателя. Если двигатель на нажатие педали "отзывается" увеличением оборотов, значит, неисправность не в нем, а в ГТ. Если же Ваш автомобиль нормально разгоняется с места, но с момента достижения какой - то скорости отказывается ехать быстрее несмотря на то, что Вы энергично нажимаете на педаль газа, это говорит о том, что в ГТ заклинилась муфта. При этом будут перегреваться двигатель и ГТ. Перегретый ГТ имеет синеватый оттенок.

При движении автомобиля с исправной АКПП при нажатии и отпускании педали газа переключение передач должно осуществляться последовательно и плавно, без толчков, рывков и пробуксовок. Необходимо следить за тем, при какой скорости автомобиля происходит включение (выключение) той или иной передачи. Пробуксовки, рывки, задержки при переключении передач или полное отсутствие какой - либо передачи говорят о том, что АКПП срочно требуется ремонт.

### **Посторонние шумы в АКП**

Во время оценки состояния АКП как в подвижном (road test) , так и в неподвижном (stall speed test) автомобиле водителю следует внимательно прислушиваться к звуку работы силового агрегата (двигателя и коробки). Если в ровном однотонном звуке работы силового агрегата будут отчетливо прослушиваться подозрительные шумы, это может быть следствием неисправности как в двигателе, так и в АКП. К неисправностям, не относящимся к АКП и производящими нестандартные звуки, можно отнести неполадки в водяном насосе, компрессоре кондиционера, генераторе, рулевой колонке и т.д. Если же точно установлено что "тарахтит" коробка, то по тембру и тональности шума опытный специалист может примерно определить характер неисправности. Например:

Воющий, как у сирены, звук. Считается нормальным, если такой звук ненадолго возникает в ГТ при проведении stall speed теста и впоследствии исчезает.

Постоянный воющий звук (автомобиль неподвижен), который усиливается или ослабевает в зависимости от количества оборотов двигателя, говорит о том, что АКП может быть:

- недостаточный уровень масла;
- попадание воздуха в масляный насос из-за износа уплотняющих прокладок и колец;
- повреждение или износ шестерен масляного насоса;
- неправильно вставлены шестерни в корпус насоса при его сборке;
- неправильное зацепление шестерен в насосе.

Жужжащий звук - результат либо вибрации золотника клапана регулировки линейного давления масла, либо перемещения какого-нибудь сломавшегося или изношенного уплотняющего сальника. Сила звука также зависит от оборотов двигателя.

Постоянный дребезжащий звук - обычно бывает на низких оборотах двигателя и свидетельствует о неисправностях в ГТ (поломка лопастей насосного, турбинного колес или демпферных пружин).

Прерывающийся дребезжащий звук в движущемся автомобиле на низких оборотах двигателя - признак того, что поврежден маховик двигателя, к которому крепится ГТ. При переводе рычага переключения передач в положение N или P такой звук может на короткое время исчезнуть.

Если посторонний звук присутствует на какой-то одной передаче и исчезает при включении других передач, следовательно, неисправен какой-то из планетарных рядов, работающих на этой передаче. Если при включении других передач посторонний звук не исчезает, а лишь меняет свою тональность, вероятнее всего, неисправность кроется в упорных подшипниках или вкладышах.

Впечатление, как будто вибрирует двигатель, может быть вызвано вибрацией питающих трубок или трубок магистрали охлаждения масла в АКП из-за поломки или рассоединения крепящих их скоб.

## Лекция 10 ТЕМА 5 СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Основным предназначением систем активной безопасности автомобиля является предотвращение аварийной ситуации.

Применение систем активной безопасности позволяет в различных критических ситуациях сохранять контроль над автомобилем или, другими словами, сохранить **курсовую устойчивость и управляемость автомобиля**.

Под **курсовой устойчивостью** понимается способность автомобиля сохранять движение по заданной траектории, противодействуя силам, вызывающим занос и опрокидывание.

**Управляемость** заключается в способности автомобиля двигаться в заданном водителем направлении.

Наиболее известными и востребованными системами активной безопасности являются:

- антиблокировочная система тормозов;
- антипробуксовочная система;
- система курсовой устойчивости;
- система распределения тормозных усилий;
- система экстренного торможения;
- электронная блокировка дифференциала.

Перечисленные системы активной безопасности конструктивно связаны и тесно взаимодействуют с тормозной системой автомобиля и значительно повышают ее эффективность.

Имеются также **вспомогательные системы активной безопасности** (ассистенты), предназначенные для помощи водителю в трудных с точки зрения вождения ситуациях. К таким системам относятся:

- парктроник;
- адаптивный круиз-контроль;
- система помощи при спуске;
- система помощи при подъёме;
- электромеханический стояночный тормоз;
- и другие.

### **5.1 АНТИБЛОКИРОВОЧНАЯ СИСТЕМА ТОРМОЗОВ**

Термин "**тормоз**" происходит от греческого "**тормос**", что означает отверстие для гвоздя, замедляющего вращение колеса. Сегодня безопасность автомобиля немыслима без эффективного тормозного управления, которое в соответствии с требованиями стран - членов ЕЭС должно состоять из следующих тормозных систем (ТС):

- **основная (рабочая)**, которая обеспечивает замедление легкового автомобиля не менее **5,8 м/с<sup>2</sup>**; движущегося со скоростью не более **80 км/ч** при усилии на педаль менее **50 кг**;
- **вспомогательная (аварийная)**, обеспечивающая замедление не менее **2,75 м/с<sup>2</sup>**;

– **стояночная**, которая может быть совмещена с аварийной.

Электронные системы, обеспечивающие управление тормозами, по функциональному назначению, могут быть классифицированы на **антиблокировочные, регулирования тормозных сил и полностью электронные**.

Положительное влияние тормозных антиблокировочных систем (АБС) на безопасность автотранспортных средств уже не требует доказательств: проблемы их создания и серийного производства для мирового автомобилестроения решены. В настоящее время завершается и этап регламентации их свойств в международных предписаниях, после чего следует ожидать, что АБС станет столь же неотъемлемой частью автомобиля, как и сами тормоза. В частности, уже существуют требования к АБС (**Приложение 13 к Правилам № 13 ЕЭК ООН**), а также соглашение об обязательном оснащении этой системой некоторых категорий транспортных средств. В странах Общего рынка эксплуатация междугородных и туристских автобусов, а также большегрузных автомобилей и автопоездов, не оборудованных АБС, запрещена с 1 октября 1991 г. Но и без этого ограничения, несмотря на значительную цену (4-7% цены автотранспортного средства), число заказов на автомобили с АБС стремительно возрастает. Пока контракты, связанные с автомобилями высшего класса и специальными, поделены между фирмами «**Bosch**», «**Tevis**» (Германия) и «**Bendix**» (США); компания «**Kelsi-Hase**» охватывает заказчиков с большими объемами производства: грузовые автомобили «**Mazda**», «**Isudzu**» (Япония), «**Ford**» (США).

Электронные блоки управления АБС различаются внутренним содержанием, а главное - **алгоритмом функционирования** (достижения в этой области составляют **предмет тщательной охраны**, так как в наибольшей степени определяют качество системы в целом).

Блокировка колес автомобиля в процессе торможения крайне нежелательна, так как увеличиваются тормозной путь и вероятность заноса автомобиля. Антиблокировочная система препятствует блокировке колес при резком торможении, благодаря чему полностью сохраняется управляемость автомобиля.

**Основной задачей АБС** является поддержание в процессе торможения автомобиля такого тормозного момента, который при данном состоянии дорожного покрытия исключает возможность блокировки колес и обеспечивает максимально возможный эффект торможения.

При экстренном торможении автомобиля возможна блокировка одного или нескольких колёс. В этом случае весь запас по сцеплению колеса с дорогой используется в продольном направлении. Заблокированное колесо перестает воспринимать боковые силы, удерживающие автомобиль на заданной траектории, и скользит по дорожному покрытию. Автомобиль теряет управляемость и малейшее боковое усилие приводит его к заносу.

Антиблокировочная система тормозов (АБС, ABS, Antilock Brake System) предназначена предотвратить блокировку колес при торможении

и сохранить управляемость автомобиля. Антиблокировочная система не уменьшает длину тормозного пути, а повышает эффективность торможения на различном дорожном покрытии.

Антиблокировочная система тормозов выпускается с 1978 года. С 1985 года система интегрирована с антипробуксовочной системой. Ведущим производителем системы ABS является фирма Bosch.

Система ABS устанавливается в штатную тормозную систему автомобиля без изменения ее конструкции.

Наиболее перспективной является антиблокировочная система тормозов с индивидуальным регулированием скольжения колеса. Индивидуальное регулирование позволяет получить оптимальный тормозной момент на каждом колесе в соответствии с дорожными условиями и, как следствие, минимальный тормозной путь.

**Антиблокировочная система** имеет следующее устройство:

- датчики угловой скорости колёс;
- датчик давления в тормозной системе;
- блок управления;
- гидравлический блок;
- контрольная лампа на панели приборов.

**Датчик угловой скорости** устанавливается на каждое колесо. Он фиксирует текущее значение частоты вращения колеса и преобразует его в электрический сигнал.

На основании сигналов датчиков **блок управления** выявляет ситуацию блокирования колеса. В соответствии с установленным программным обеспечением блок формирует управляющие воздействия на **исполнительные устройства - электромагнитные клапаны** и электродвигатель насоса обратной подачи гидравлического блока системы.

**Гидравлический блок** объединяет следующие конструктивные элементы:

- впускные и выпускные электромагнитные клапаны;
- аккумуляторы давления;
- насос обратной подачи с электродвигателем;
- демпфирующие камеры.

В гидравлическом блоке каждому тормозному цилиндру колеса соответствует один впускной и один выпускной клапаны, которые управляют торможением в пределах своего контура.

**Аккумулятор давления** предназначен для приема тормозной жидкости при сбросе давления в тормозном контуре.

**Насос обратной подачи** подключается, когда емкости аккумуляторов давления недостаточно. Он увеличивает скорость сброса давления.

**Демпфирующие камеры** принимают тормозную жидкость от насоса обратной подачи и гасят ее колебания.

В гидравлическом блоке устанавливается два аккумулятора давления и две демпфирующие камеры по числу контуров гидропривода тормозов.

**Контрольная лампа** на панели приборов сигнализирует о неисправности системы.

### **Принцип работы антиблокировочной системы тормозов**

Работа антиблокировочной системы тормозов носит циклический характер. **Цикл работы системы** включает три фазы:

- удержание давления;
- сброс давления;
- увеличение давления.

На основании электрических сигналов, поступающих от датчиков угловой скорости, блок управления ABS сравнивает угловые скорости колёс. При возникновении опасности блокирования одного из колёс, блок управления закрывает соответствующий впускной клапан. Выпускной клапан при этом также закрыт. Происходит удержание давления в контуре тормозного цилиндра колеса. При дальнейшем нажатии на педаль тормоза давление в тормозном цилиндре колеса не увеличивается.

При продолжающейся блокировке колеса, блок управления открывает соответствующий выпускной клапан. Впускной клапан при этом остается закрытым. Тормозная жидкость перепускается в аккумулятор давления. Происходит сброс давления в контуре, при этом скорость вращения колеса увеличивается. При недостаточной емкости аккумулятора давления, блок управления ABS подключает к работе насос обратной подачи. Насос обратной подачи перекачивает тормозную жидкость в демпфирующую камеру, уменьшая давление в контуре. Водитель при этом ощущает пульсацию педали тормоза.

Как только угловая скорость колеса превысит определенное значение, блок управления закрывает выпускной клапан и открывает впускной. Происходит увеличение давления в контуре тормозного цилиндра колеса.

Цикл работы антиблокировочной системы тормозов повторяется до завершения торможения или прекращения блокирования.

Система ABS не отключается.

## **5.2 АНТИПРОБУКСОВОЧНАЯ СИСТЕМА**

**Антипробуксовочная система** (другое наименование – противобуксовочная система) предназначена для предотвращения пробуксовки ведущих колёс.

В зависимости от производителя антипробуксовочная система имеет следующие торговые наименования:

система ASR (Automatic Slip Regulation, Acceleration Slip Regulation) на автомобилях Mercedes, Volkswagen, Audi и др.;

система ASC (Anti-Slip Control) на автомобилях BMW;

система A-TRAC (Active Traction Control) на автомобилях Toyota;

система DSA (Dynamic Safety) на автомобилях Opel;

система DTC (Dynamic Traction Control) на автомобилях BMW;

система ETC (Electronic Traction Control) на автомобилях Range Rover;

система ETS ( Electronic Traction System) на автомобилях Mercedes;  
система STC (System Traction Control) на автомобилях Volvo;  
система TCS (Traction Control System) на автомобилях Honda;  
система TRC (Traking Control) на автомобилях Toyota.

Несмотря на многообразие названий, конструкция и принцип работы данных противобуксовочных систем во многом похожи, поэтому рассмотрены на примере одной из самых распространенных систем - системы ASR.

**Антипробуксовочная система** построена на конструктивной основе антиблокировочной системы тормозов. **В системе ASR** реализованы две функции:

- электронная блокировка дифференциала;
- управление крутящим моментом двигателя.

Для реализации противобуксовочных функций в системе используется насос обратной подачи и дополнительные электромагнитные клапаны на каждое из ведущих колес в гидравлическом блоке ABS:

- переключающий клапан;
- клапан высокого давления.

**Управление системой ASR** осуществляется за счет соответствующего программного обеспечения, включенного в блок управления ABS.

В своей работе блок управления ABS/ASR взаимодействует с блоком управления системы управления двигателем.

#### **Принцип работы антипробуксовочной системы**

Система ASR предупреждает пробуксовку колес во всём диапазоне скоростей автомобиля:

- при низких скоростях движения (от 0 до 80 км/ч) система обеспечивает передачу крутящего момента за счёт подтормаживания ведущих колёс;
- при скорости выше 80 км/ч усилия регулируются за счёт уменьшения передаваемого от двигателя крутящего момента.

На основании сигналов датчиков угловых скоростей колёс блок управления ABS/ASR определяет следующие характеристики:

- угловое ускорение ведущих колёс;
- скорость движения автомобиля (на основании угловой скорости неведущих колёс);
- характер движения автомобиля - прямолинейное или криволинейное (на основании сравнения угловых скоростей неведущих колёс);
- величину проскальзывания ведущих колёс (на основании разницы угловых скоростей ведущих и неведущих колёс).

В зависимости от текущего значения эксплуатационных характеристик производится управление тормозным давлением или управление крутящим моментом двигателя.

**Управление тормозным давлением** осуществляется циклически. Рабочий цикл имеет три фазы - увеличение давления, удержание давления и сброс давления. Увеличение давления тормозной жидкости в конту-

ре обеспечивает торможение ведущего колеса. Оно производится за счет включения насоса обратной подачи, закрытия переключающего клапана и открытия клапана высокого давления. Удержание давления достигается за счет отключения насоса обратной подачи. Сброс давления производится по окончании пробуксовки при открытых впускном и переключающем клапанах. При необходимости цикл работы повторяется.

**Управление крутящим моментом двигателя** осуществляется во взаимодействии с системой управления двигателем. На основании информации о проскальзывании ведущих колес, получаемой от датчиков угловой скорости колес, и фактической величине крутящего момента, получаемой от блока управления двигателем, блок управления противобуксовочной системы вычисляет величину необходимого крутящего момента. Данная информация передается в блок управления системы управления двигателем и реализуется с помощью следующих действий:

- изменения положения дроссельной заслонки;
- пропуска впрыскиваний топлива в системе впрыска;
- пропуска импульсов зажигания или изменения угла опережения зажигания в системе зажигания;
- отмены переключения передачи в автомобилях с автоматической коробкой передач.

При срабатывании противобуксовочной системы загорается контрольная лампа на панели приборов. Система имеет возможность отключения.

### **5.3 СИСТЕМА КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ**

**Система курсовой устойчивости** (другое наименование - система динамической стабилизации) предназначена для сохранения устойчивости и управляемости автомобиля за счет заблаговременного определения и устранения критической ситуации.

Система позволяет удерживать автомобиль в пределах заданной водителем траектории при различных режимах движения (разгоне, торможении, движении по прямой, в поворотах и при свободном качении).

В зависимости от производителя различают следующие системы курсовой устойчивости:

- система **ESP** (Electronic Stability Programme) на большинстве автомобилей в Европе и Америке;
- система **ESC** (Electronic Stability Control) на автомобилях Honda, Kia, Hyundai;
- система **DSC** (Dynamic Stability Control) на автомобилях BMW, Jaguar, Rover;
- система **DTSC** (Dynamic Stability Traction Control) на автомобилях Volvo;
- система **VSA** (Vehicle Stability Assist) на автомобилях Honda, Acura;
- система **VSC** (Vehicle Stability Control) на автомобилях Toyota;
- система **VDC** (Vehicle Dynamic Control) на автомобилях Infiniti, Nissan, Subaru;

– система **VDIM** (Vehicle Dynamics Integrated Management) на автомобилях Toyota.

Устройство и принцип действия системы курсовой устойчивости рассмотрим на примере самой распространенной системы **ESP**.

### **Устройство системы курсовой устойчивости**

Система курсовой устойчивости является системой активной безопасности более высокого уровня и включает следующие системы:

- антиблокировочную систему тормозов (ABS),
- систему распределения тормозных усилий (EBD),
- электронную блокировку дифференциала (EDS),
- антипробуксовочную систему (ASR).

Система ESP выпускается с 1995 года. Система курсовой устойчивости имеет следующее устройство:

- входные датчики;
- блок управления;
- гидравлический блок.

Входные датчики фиксируют конкретные параметры автомобиля и преобразуют их в электрические сигналы. С помощью датчиков система динамической стабилизации оценивает действия водителя и параметры движения автомобиля.

К входным датчикам системы ESP относятся: используются в оценке действий водителя

используются в оценке действий водителя	<ul style="list-style-type: none"><li>• датчик угла поворота рулевого колеса;</li><li>• датчик давления в тормозной системе;</li><li>• выключатель стоп-сигнала;</li></ul>
используются в оценке фактических параметров движения	<ul style="list-style-type: none"><li>• датчики угловой скорости колёс;</li><li>• датчик продольного ускорения;</li><li>• датчик поперечного ускорения;</li><li>• датчик скорости поворота автомобиля;</li><li>• датчик давления в тормозной системе</li></ul>

Блок управления системы ESP принимает сигналы от датчиков и формирует управляющие воздействия на исполнительные устройства подконтрольных систем активной безопасности:

- впускные и выпускные клапаны системы ABS;
- переключающие и клапаны высокого давления системы ASR;
- контрольные лампы системы ESP, системы ABS, тормозной системы.

В своей работе блок управления ESP взаимодействует с блоком управления системы управления двигателем и блоком управления автоматической коробки передач.

Для работы системы динамической стабилизации используется гидравлический блок системы ABS/ASR со всеми компонентами.

### **Принцип работы системы курсовой устойчивости**

Определение наступления аварийной ситуации осуществляется путем сравнения действий водителя и параметров движения автомобиля. В случае, когда действия водителя (желаемые параметры движения) отличаются от фактических параметров движения автомобиля, система ESP распознает ситуацию как неконтролируемую и включается в работу.

Стабилизация движения автомобиля с помощью системы курсовой устойчивости может достигаться несколькими способами:

- подтормаживанием определенных колес;
- изменением крутящего момента двигателя
- изменением угла поворота передних колес (при наличии системы активного рулевого управления);
- изменением степени демпфирования амортизаторов (при наличии адаптивной подвески).

**Подтормаживание колес** производится путем включения в работу соответствующих систем активной безопасности. Работа при этом носит циклический характер: увеличение давления, удержание давления, сброс давления.

**Изменение крутящего момента двигателя** в системе ESP может осуществляться несколькими путями:

- изменением положения дроссельной заслонки;
- пропуском впрыска топлива;
- пропуском импульсов зажигания;
- изменением угла опережения зажигания;
- отменой переключения передачи в АКПП;
- перераспределением крутящего момента между осями (при наличии полного привода).

### **Дополнительные функции системы курсовой устойчивости**

В конструкции системы курсовой устойчивости могут быть реализованы следующие дополнительные функции (системы):

- гидравлический усилитель тормозов;
- система предотвращения опрокидывания;
- система предотвращения столкновения;
- система стабилизации автопоезда;
- система повышения эффективности тормозов при нагреве;
- система удаления влаги с тормозных дисков и др.

Все перечисленные системы, в основном, не имеют своих конструктивных элементов, а являются программным расширением системы ESP.

**Система предотвращения опрокидывания ROP (Roll Over Prevention)** стабилизирует движение автомобиля при угрозе опрокидывания. Предотвращение опрокидывания достигается за счет уменьшения поперечного ускорения путем подтормаживания передних колес и снижения крутящего момента двигателя. Дополнительное давление в тормозной системе создается с помощью активного усилителя тормозов.

**Система предотвращения столкновения (Braking Guard)** может быть реализована в автомобиле, оснащённом адаптивным круиз-контролем. Система предотвращает опасность столкновения с помощью визуальных и звуковых сигналов, а в критической ситуации - путем нагнетания давления в тормозной системе (автоматического включения насоса обратной подачи).

**Система стабилизации автопоезда** может быть реализована в автомобиле, оборудованном тягово-сцепным устройством. Система предотвращает рыскание прицепа при движении автомобиля, которое достигается за счет торможения колес или снижения крутящего момента.

**Система повышения эффективности тормозов при нагреве FBS (Fading Brake Support, другое наименование - Over Boost)** предотвращает недостаточное сцепление тормозных колодок с тормозными дисками, возникающее при нагреве, путем дополнительного увеличения давления в тормозном приводе.

**Система удаления влаги с тормозных дисков** активируется на скорости свыше 50км/ч и включенных стеклоочистителях. Принцип работы системы заключается в кратковременном повышении давления в контуре передних колес, за счет чего тормозные колодки прижимаются к дискам и происходит испарение влаги.

#### **5.4 СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ УСИЛИЙ**

**Система распределения тормозных усилий** предназначена для предотвращения блокировки задних колес за счет управления тормозным усилием задней оси.

Современный автомобиль устроен так, что на заднюю ось приходится меньшая нагрузка, чем на переднюю. Поэтому для сохранения курсовой устойчивости автомобиля блокировка передних колес должна наступать раньше задних колес.

При резком торможении автомобиля происходит дополнительное уменьшение нагрузки на заднюю ось, так как центр тяжести смещается вперед. А задние колёса, при этом, могут оказаться заблокированными.

Система распределения тормозных усилий представляет собой программное расширение антиблокировочной системы тормозов. Другими словами, система использует конструктивные элементы системы ABS в новом качестве.

Общепринятыми торговыми названиями системы являются:

- **EBD**, Electronic Brake Force Distribution ;
- **EBV**, Elektronische Bremskraftverteilung .

#### **Принцип работы системы распределения тормозных усилий**

Работа системы EBD, также как и система ABS, носит циклический характер. Цикл работы включает три фазы:

- удержание давления;
- сброс давления;

– увеличение давления.

По данным датчиков угловой скорости колес блок управления ABS сравнивает тормозные усилия передних и задних колёс. Когда разница между ними превышает заданную величину, включается алгоритм системы распределения тормозных усилий.

На основании разности сигналов датчиков блок управления определяет начало блокирования задних колес. Он закрывает впускные клапаны в контурах тормозных цилиндров задних колес. Давление в контуре задних колес удерживается на текущем уровне. Впускные клапаны передних колёс остаются открытыми. Давление в контурах тормозных цилиндров передних колес продолжает увеличиваться до начала блокирования передних колес.

Если колеса задней оси продолжают блокироваться, открываются соответствующие выпускные клапаны и давление в контурах тормозных цилиндров задних колес уменьшается.

При превышении угловой скорости задних колес заданного значения, давление в контурах увеличивается. Происходит торможение задних колес.

Работа системы распределения тормозных усилий заканчивается с началом блокирования передних (ведущих) колес. При этом в работу включается система ABS.

## **5.5 СИСТЕМА ЭКСТРЕННОГО ТОРМОЖЕНИЯ**

**Система экстренного торможения** предназначена для эффективного использования тормозов в экстренной ситуации. Как показывает практика, применение системы экстренного торможения на автомобиле позволяет сократить тормозной путь в среднем на 15-20%. Это, порой, является решающим фактором предотвращения аварии.

**Конструкции систем экстренного торможения** можно разделить по принципу действия на две группы:

- пневматические системы экстренного торможения;
- гидравлические системы экстренного торможения.

**Пневматические системы экстренного торможения** обеспечивают эффективную работу вакуумного усилителя тормозов. К таким системам относятся:

- системы **BA** (Brake Assist), **BAS** (Brake Assist System), **EBA** (Emergency Brake Assist) на автомобилях Mercedes, Toyota и др.;
- система **AFU** на французских автомобилях Renault, Peugeot, Citroen.

**Пневматическая система экстренного торможения** имеет следующее устройство:

- датчик скорости перемещения штока вакуумного усилителя;
- электронный блок управления;
- электромагнитный привод штока.

**Пневматическая система** экстренного торможения устанавливается

на автомобили, оборудованные системой ABS.

Принцип работы данной системы основан на распознавании ситуации экстренного торможения по скорости нажатия педали тормоза. Скорость нажатия на педаль тормоза фиксирует датчик скорости перемещения штока вакуумного усилителя и передает сигнал в электронный блок управления. Если величина сигнала превышает установленное значение, электронный блок управления активирует электромагнит привода штока. Вакуумный усилитель тормозов дожимает педаль тормоза. Экстренное торможение происходит до срабатывания системы ABS.

**Гидравлические системы** экстренного торможения обеспечивают максимальное давление жидкости в тормозной системе. К таким системам относятся:

- система **HBA** (Hydraulic Braking Assistance) на автомобилях Volkswagen, Audi;
- система **HBB** (Hydraulic Brake Booster) на автомобилях Volkswagen, Audi;
- система **SBC** (Sensotronic Brake Control) на автомобилях Mercedes;
- система **DBC** (Dynamic Brake Control) на автомобилях BMW.

Гидравлические системы экстренного торможения являются, как правило, программным расширением системы курсовой устойчивости, т.е. по сути они не имеют самостоятельных конструктивных элементов.

**Система HBA** распознает экстренную ситуацию по скорости и силе нажатия педали тормоза. В работе системы используется датчик давления в тормозной системе, датчики частоты вращения колес, выключатель стоп-сигнала. На основании поступающих сигналов электронный блок управления при необходимости включает насос обратной подачи, который доводит давление в тормозной системе до максимального. Действие программы происходит до срабатывания системы ABS.

**Система HBB** в определенных режимах эксплуатации автомобиля (прогрев двигателя и др.) дублирует вакуумный усилитель тормозов. В работе системы используются датчик давления в тормозной системе, датчик разряжения в вакуумном усилителе, выключатель стоп-сигнала. При недостаточном разряжении в камерах вакуумного усилителя система HBB включает насос обратной подачи и повышает давление в тормозной системе до необходимой величины.

Наиболее совершенной системой экстренного торможения является **система SBC**. В своей работе система учитывает множество факторов, в том числе: скорость переноса ноги с педали газа на педаль тормоза, силу нажатия на педаль тормоза, качество дорожного покрытия, направление движения, другие параметры. В соответствии с конкретными условиями движения электронный блок управления формирует оптимальное тормозное усилие на каждое колесо.

## 5.6 ЭЛЕКТРОННАЯ БЛОКИРОВКА ДИФФЕРЕНЦИАЛА

### Электронная блокировка дифференциала (EDS, Elektronische

**Differenzialsperre)** предназначена для предотвращения пробуксовки ведущих колес при трогании автомобиля с места, разгоне на скользкой дороге, движении по прямой и в поворотах за счет подтормаживания ведущих колес. Система получила свое название по аналогии с соответствующей функцией дифференциала.

**Система EDS** срабатывает при проскальзывании одного из ведущих колёс. Она подтормаживает скользящее колесо, за счет чего на нем увеличивается крутящий момент. Так как ведущие колеса соединены симметричным дифференциалом, на другом колесе (с лучшим сцеплением) крутящий момент также увеличивается.

Система работает в диапазоне скоростей от 0 до 80 км/ч.

**Система EDS** построена на основе антиблокировочной системы тормозов. В отличие от системы ABS в конструкции электронной блокировки дифференциала предусмотрена возможность самостоятельного создания давления в тормозной системе. Для реализации данной функции используется насос обратной подачи и два электромагнитных клапана (на каждое из ведущих колес), включенные в гидравлический блок ABS:

- переключающий клапан;
- клапан высокого давления.

**Управление системой** осуществляется с помощью соответствующего программного обеспечения в блоке управления ABS.

Электронная блокировка дифференциала, как правило, является составной частью антипробуксовочной системы.

### **Принцип работы электронной блокировки дифференциала**

Работа электронной блокировки дифференциала носит циклический характер. Цикл работы системы включает три фазы:

- увеличение давления;
- удержание давления;
- сброс давления.

**Пробуксовка ведущего колёса** определяется на основании сравнения сигналов, поступающих от датчиков угловых скоростей колёс. При этом блок управления закрывает переключающий клапан и открывает клапан высокого давления. Для создания давления в контуре тормозного цилиндра ведущего колеса включается насос обратной подачи. Происходит увеличение давления тормозной жидкости в контуре и торможение ведущего колеса.

При достижении тормозного усилия необходимой для предотвращения пробуксовки величины производится удержание давления. Это достигается отключением насоса обратной подачи.

По окончании пробуксовки производится сброс давления. При этом впускной и переключающий клапаны в контуре тормозного цилиндра ведущего колеса открыты.

При необходимости цикл работы системы EDS повторяется.

Аналогичный принцип действия имеет система ETS (Electronic

Traction System) от Mercedes.

## 5.7 СИСТЕМА АКТИВНОГО РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ



К системе активного рулевого управления можно отнести систему рулевого управления с электроусилителем руля.

**Электроусилителем рулевого управления** (обиходное название – **электроусилитель руля**) называется конструктивный элемент рулевого управления автомобиля, в котором дополнительное усилие при повороте рулевого колеса создается с помощью электрического привода. В конструкции современного автомобиля электроусилитель рулевого управления постепенно заменяет гидроусилитель руля.

Основными преимуществами электроусилителя руля в сравнении с гидроусилителем рулевого управления являются:

- удобство регулирования характеристик рулевого управления;
- высокая информативность рулевого управления;
- высокая надежность в связи с отсутствием гидравлической системы;
- топливная экономичность, обусловленная экономным расходом энергии.

Различают две **схемы компоновки электроусилителя рулевого управления**:

- усилие электродвигателя передается на вал рулевого колеса;
- усилие электродвигателя передается на рейку рулевого механизма.

Наиболее совершенным с точки зрения **конструкции** является **электромеханический усилитель рулевого управления**. Известными конструкциями такого усилителя являются:

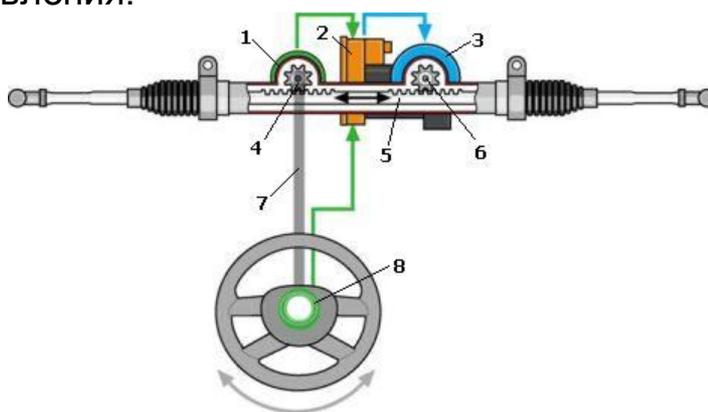
- электромеханический усилитель руля с двумя шестернями;
- электромеханический усилитель руля с параллельным приводом.

### 5.7.1 Электромеханический усилитель руля с двумя шестернями

Электромеханический усилитель рулевого управления имеет следующее устройство:

- электродвигатель усилителя;
- механическая передача;

– система управления.



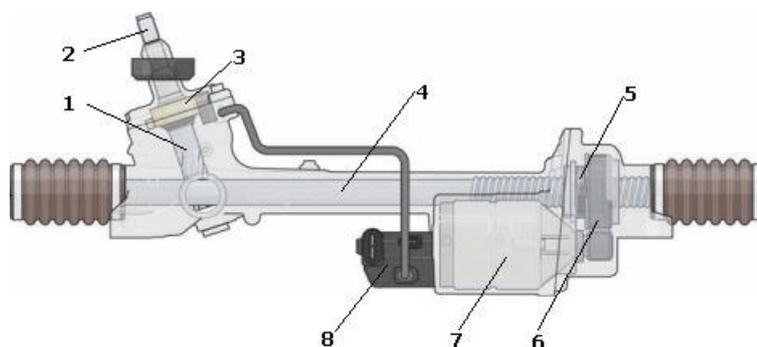
**Рис. 1 – Схема электромеханического усилителя руля с двумя шестернями:**

1 – датчик крутящего момента на рулевом колесе, 2 – электронный блок управления, 3 – электродвигатель, 4 – шестерня вала рулевого управления, 5 - зубчатая рейка, 6 – шестерня усилителя руля, 7 – карданный вал рулевого управления, 8 – датчик угла поворота рулевого колеса.

Электроусилитель руля объединен с рулевым механизмом в одном блоке. В конструкции усилителя устанавливается, как правило, асинхронный **электродвигатель**.

**Механическая передача** обеспечивает передачу крутящего момента от электродвигателя к рейке рулевого механизма. В электроусилителе с двумя шестернями одна шестерня передает крутящий момент на рейку рулевого механизма от рулевого колеса, другая – от электродвигателя усилителя. Для этого на рейке предусмотрены **два участка зубьев**, один из которых служит приводом усилителя.

### 5.7.2 Электромеханический усилитель руля с параллельным приводом



## Рис. 2 – Схема электромеханического усилителя руля с параллельным приводом:

1 – вал-шестерня, 2 – торсионный стержень, 3 – датчик крутящего момента на рулевом колесе, 4 – зубчатая рейка, 5 – гайка на циркулирующих шариках, 6 – ременная передача, 7 – электродвигатель, 8 – электронный блок управления.

В электроусилителе с параллельным приводом усилие от электродвигателя передается на рейку рулевого механизма с помощью ременной передачи и специального **шариковинтового механизма**.

**Система управления** электроусилителем руля включает следующие элементы:

- входные датчики;
- электронный блок управления;
- исполнительное устройство.

К **входным датчикам** относятся датчик угла поворота рулевого колеса и датчик крутящего момента на рулевом колесе. Система управления электроусилителем руля также использует информацию, поступающую от блока управления **ABS** (датчик скорости автомобиля) и блока управления двигателем (датчик частоты коленчатого вала двигателя).

**Электронный блок управления** обрабатывает сигналы датчиков. В соответствии с заложенной программой вырабатывается соответствующее управляющее воздействие на исполнительное устройство – электродвигатель усилителя.

Электроусилитель руля обеспечивает работу рулевого управления автомобиля в следующих режимах:

- поворот автомобиля;
- поворот автомобиля на малой скорости;
- поворот автомобиля на большой скорости;
- активный возврат колес в среднее положение;
- поддержание среднего положения колес.

**Поворот автомобиля** осуществляется поворотом рулевого колеса. Крутящий момент от рулевого колеса передается через торсион на рулевой механизм. Закрутка торсиона измеряется **датчиком крутящего момента**, угол поворота рулевого колеса – **датчиком угла поворота рулевого колеса**. Информация от датчиков, а также информация о скорости автомобиля, частоте вращения коленчатого вала двигателя, передаются в электронный блок управления. Блок управления рассчитывает необходимую величину крутящего момента электродвигателя усилителя и путем

изменения величины силы тока обеспечивает ее на электродвигателе. Крутящий момент от электродвигателя передается на рейку рулевого механизма и далее, через рулевые тяги, на ведущие колеса.

Таким образом, **поворот колес автомобиля осуществляется за счет объединения усилий, передаваемых от рулевого колеса и электродвигателя усилителя.**

**Поворот автомобиля на небольшой скорости** обычно производится при парковке. Он характеризуется большими углами поворота рулевого колеса. Электронная система управления обеспечивает в данном случае максимальный крутящий момент электродвигателя (т.н. «**легкий руль**»).

**При повороте на высокой скорости**, напротив электронная система управления обеспечивает наименьший крутящий момент (т.н. «**тяжелый руль**»).

Система управления может увеличивать реактивное усилие, возникающее при повороте колес. Происходит т.н. **активный возврат колес в среднее положение.**

При эксплуатации автомобиля нередко возникает потребность в **поддержании среднего положения колес** (движение при боковом ветре, разном давлении в шинах). В этом случае система управления обеспечивает коррекцию среднего положения управляемых колес.

## 5.8 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ (ассистенты водителя)

### 5.8.1 Система помощи при спуске

Система помощи при спуске предназначена для предотвращения ускорения автомобиля при движении по горным дорогам. Наличие данной системы на автомобиле повышает удобство управления и безопасность. Система помощи при спуске устанавливается, как правило, на легковые автомобили повышенной проходимости.

В зависимости от автопроизводителя система имеет следующие названия:

**HDC**, Hill Descent Control - Volkswagen, BMW и др.;

**DAC**, Downhill Assist Control - Toyota;

**DDS**, Downhill Drive Support - Nissan.

**Система помощи при спуске** является *программным расширением системы курсовой устойчивости* и использует конструктивные элементы данной системы, поэтому по своей сути является **функцией**, а не **системой**.

Принцип работы системы основан на поддержании постоянной скорости при спуске за счет подтормаживания колес. Система активируется включением соответствующей клавиши на приборной панели. При этом алгоритм управления системы срабатывает при определенных условиях: автомобиль заведен, педали газа и тормоза отпущены, скорость движения менее 20 км/ч, преодолеваемый уклон более 20%.

На основании сигналов датчиков блок управления включает насос обратной подачи, открывает впускные клапаны и клапаны высокого давления. Выпускные и переключающие клапаны закрыты. За счет этих манипуляций в тормозной системе создается необходимое давление, которое обеспечивает снижение скорости автомобиля до определенного значения. Величина поддерживаемой системой скорости зависит от начальной скорости автомобиля и включенной передачи.

При достижении скорости автомобиля заданного значения торможение прекращается. При дальнейшем ускорении цикл работы системы помощи при спуске повторяется. Таким образом, скорость движения на спуске поддерживается в определенном безопасном диапазоне.

Система помощи при спуске деактивируется принудительно (повторным нажатием клавиши) или автоматически при нажатии на педаль газа или тормоза, а также снижения величины уклона менее 12%.

### 5.8.2 Система помощи при подъеме

Система помощи при подъеме предназначена для предотвращения откатывания автомобиля при трогании на подъеме (наклонной плоскости). Применение данной системы облегчает трогание автомобиля на подъеме, исключая использование стояночного тормоза, и повышает безопасность. Система устанавливается в качестве опции на некоторые легковые авто-

мобили.

В зависимости от автопроизводителя система имеет следующее название:

**HHC**, Hill Hold Control от Volkswagen;

**Hill Holder** от Subaru, Fiat;

**HAC**, Hill-Start Assist Control от Toyota;

**USS**, Uphill Start Support от Nissan.

**Система помощи при подъеме** построена на базе системы динамической стабилизации и является программным расширением данной системы, поэтому системой, как таковой, не является.

**Принцип работы системы** основан на замедлении снижения давления в тормозной системе при отпускании педали тормоза. Алгоритм работы системы помощи при подъеме активизируется при определенных условиях: автомобиль заведен, педаль тормоза нажата, величина подъема превышает 5%.

**Система работает циклически.** Цикл работы включает четыре фазы:

- создание тормозного давления;
- удержание тормозного давления;
- снижение тормозного давления;
- сброс тормозного давления.

При торможении на подъеме тормозная система работает в режиме, при котором впускные и переключающие клапаны открыты, а выпускные и клапаны высокого давления закрыты. В результате в системе создается тормозное давление, которое удерживает автомобиль на месте.

При отпускании педали тормоза закрываются переключающие клапаны, в контурах удерживается давление на прежнем уровне, чем предотвращается откатывание автомобиля назад.

При нажатии на педаль газа происходит постепенное открытие перепускных клапанов, которое обеспечивает снижение тормозного давления.

При трогании автомобиля с места и достижении крутящим моментом достаточной для движения величины, переключающие клапаны полностью открываются, и происходит сброс давления в системе.

Необходимо отметить, что система работает всегда на подъем, независимо от направления движения, что актуально для трогания на подъеме задним ходом.

### **5.8.3 Парковочная система (Парктроник)**

**Парковочная система (обиходное название – парктроник)** является вспомогательной системой безопасности автомобиля. Она облегчает процесс парковки автомобиля за счет контроля расстояния до препятствия. Наибольшая эффективность от применения парковочных систем реализуется при движении автомобиля задним ходом, в темное время суток, при сильной тонировке стекол, а также в стесненных условиях.

Известными парковочными системами являются:

- система **PTS** (Parktronic System) на автомобилях Audi;
- система **PDC** (Parking Distance Control) на автомобилях BMW;
- система **APS** (Acoustic Parking System) на автомобилях Audi;
- система **OPS** (Optical Parking System) на автомобилях Audi;
- парковочный автопилот (Park Assistant) на автомобилях Volkswagen.

Торговое название Парктроник (Parktronic System), ввиду его популярности, стало нарицательным именем всех парковочных систем, устанавливаемых на автомобили.

**Парктроник** имеет следующее общее устройство:

- датчики парковки;
- электронный блок управления;
- устройство индикации.

В парковочных системах используются ультразвуковые датчики парковки. Парктроник обычно включает 4-8 датчиков парковки, из которых 4 задних датчика и, при необходимости, 2-4 передних датчика.

Датчик посылает сигнал ультразвуковой частоты (порядка 40 кГц) и принимает его отражение от препятствия. Чем меньше время возвращения сигнала, тем ближе находится препятствие. Эффективная работа датчика парковки осуществляется на расстоянии 0,25-1,8 м от препятствия.

Электрические сигналы от датчиков поступают в электронный блок управления. В зависимости от величины сигналов электронный блок управляет работой устройства индикации.

**Устройство индикации** (индикаторное устройство) служит для предупреждения о приближении препятствия. В устройствах применяются следующие виды индикации:

- звуковая;
- светодиодная;
- цифровая;
- оптическая.

Самой простой является звуковая индикация. Работа данного устройства характеризуется частотой подачи звуковых сигналов (от прерывистого до непрерывного сигнала). Звуковая сигнализация используется в системе APS.

В устройствах, оборудованных светодиодной индикацией, используется световая шкала. В зависимости от расстояния до препятствия происходит изменение цвета от зеленого к красному.

Устройство цифровой индикации показывает расстояние до препятствия. Обычно цифровая индикация совмещена со светодиодной.

Оптическая индикация предполагает наличие жидкокристаллического дисплея, на который выносятся цифровая и цветовая информация, а также схематическое изображение автомобиля. Примером оптической парковочной системы является система OPS.

С целью улучшения заднего обзора в дополнение к парковочной системе может устанавливаться камера заднего вида. Камера снимает проис-

ходящее за автомобилем и передает на дисплей. Включение камеры производится при включении передачи заднего хода.

Следующим поколением развития парковочных систем является т.н. парковочный автопилот. Данная система, помимо контроля дистанции, осуществляет активную помощь при парковке задним ходом. Работа парковочного автопилота разделяется на следующие этапы:

- включение;
- поиск места на стоянке;
- автоматическая парковка.

Включение парковочного автопилота производится принудительно - специальной клавишей в кабине автомобиля.

Для поиска места на стоянке в конструкции системы предусмотрены четыре ультразвуковых датчика. Два датчика расположены с левой стороны автомобиля, другие два – с правой стороны. При движении автомобиля датчики фиксируют расстояние между стоящими автомобилями. При определении достаточного для парковки расстояния, на дисплей автомобиля выводится соответствующая информация.

Автоматическая парковка производится за счет соответствующего программного обеспечения в электронном блоке управления. В своей работе электронный блок взаимодействует со следующими системами:

- электроусилитель рулевого управления;
- тормозная система;
- системы ABS и ESP;
- система управления двигателем;
- система управления АКПП.

Включение в работу указанных систем производится в соответствии с определенным алгоритмом, что обеспечивает автоматическую парковку автомобиля. В любой момент работу парковочного автопилота можно перейти из автоматического в ручной режим.

#### **5.8.4 Адаптивный круиз-контроль**

**Система адаптивного круиз-контроля (ACC, Adaptive Cruise Control)** предназначена для поддержания скорости и безопасной дистанции при движении автомобиля. Адаптивный круиз-контроль является дальнейшим развитием системы круиз-контроля. Известной конструкцией адаптивного круиз-контроля является система DISTRONIC.

**Система адаптивного круиз-контроля** имеет следующее устройство:

- ультразвуковой датчик;
- блок управления.

**Ультразвуковой датчик** служит для измерения скорости и расстояния до впереди идущего автомобиля. Скорость впереди идущего автомобиля оценивается по изменению частоты отраженной волны, а расстояние до машины - по времени возвращения сигнала. Установленные параметры преобразуются в электрические сигналы и передаются в блок управления.

Датчик устанавливается на переднем бампере или решетке радиатора автомобиля. Радиус действия ультразвукового датчика составляет порядка 150 м. В современной системе DISTRONIC используется два ультразвуковых датчика - дальнего и ближнего действия. Это расширяет функциональные возможности системы и позволяет ее использовать при движении автомобиля с малой скоростью на небольшой дистанции (например, при движении в "пробках").

Электронный блок управления принимает сигналы от датчика. Программное обеспечение, установленное в блоке, сравнивает фактические параметры движения с заданными и формирует управляющие сигналы по изменению скорости. Сигналы передаются в блок управления системы курсовой устойчивости, который осуществляет замедление или ускорение автомобиля.

### **Принцип работы адаптивного круиз-контроля**

Работа системы адаптивного круиз-контроля осуществляется в диапазоне скоростей от 30 до 180 км/ч (для системы DISTRONIC - от 0 до 200 км/ч).

Адаптивный круиз-контроль обеспечивает движение автомобиля в следующих режимах:

- постоянной скорости;
- ускорения;
- замедления.

**При отсутствии** на дороге других автомобилей, система поддерживает заданную водителем скорость.

**При ускорении или перестроении** впереди идущего автомобиля происходит ускорение автомобиля до заданной водителем скорости.

**При замедлении** или перестроении из соседнего ряда впереди идущего автомобиля происходит замедление автомобиля до заданной водителем дистанции. На низкой скорости замедление достигается за счёт работы тормозной системы (увеличения давления тормозной жидкости в системе), на высокой скорости - за счёт снижения мощности двигателя (уменьшения подачи воздуха) и, при необходимости, работы тормозной системы.

### **5.8.5 Электромеханический стояночный тормоз**

**Электромеханический стояночный тормоз (Electromechanical Parking Brake, EPB)** является современной конструкцией стояночной тормозной системы, в которой используется электромеханический привод тормозных механизмов.

Электромеханический стояночный тормоз выполняет следующие **функции**:

- удержание автомобиля на месте при стоянке;
- аварийное торможение при движении автомобиля;
- удержание автомобиля при трогании на подъеме.

**Система EPB** устанавливается на задние колеса автомобиля. Электромеханический стояночный тормоз имеет следующее общее устройство:

- тормозной механизм;
- тормозной привод;
- электронная система управления.

В системе используются штатные **тормозные механизмы**, конструктивные изменения внесены в рабочие цилиндры.

**Тормозной привод** устанавливается на суппорте тормозного механизма. Тормозной привод преобразует электрическую энергию бортовой сети в поступательное движение тормозных колодок. Для выполнения возложенных функций привод включает следующие конструктивные элементы:

- электродвигатель;
- ременная передача;
- планетарный редуктор;
- винтовой привод.

Все элементы находятся в одном корпусе. Вращательное движение электродвигателя через ременную передачу передается на планетарный редуктор. Применение планетарного редуктора обусловлено снижением уровня шума, массы привода, а также существенной экономией пространства. Редуктор осуществляет перемещение винтового привода, который в свою очередь обеспечивает поступательное движение поршня тормозного механизма.

**Электронная система управления** стояночным тормозом объединяет:

- входные датчики;
- блок управления;
- исполнительные механизмы.

К **входным датчикам** относятся кнопка включения тормоза, датчик уклона, датчик педали сцепления. **Кнопка включения** располагается на центральной консоли автомобиля. Датчик уклона интегрирован в блок управления. Датчик педали сцепления расположен на приводе сцепления и фиксирует два параметра – положение и скорость отпускания педали сцепления.

**Блок управления** преобразует сигналы датчиков в управляющие воздействия на исполнительные устройства. В своей работе блок управления взаимодействует с системой управления двигателем и системой курсовой устойчивости ESP.

В роли исполнительного механизма системы управления выступает электродвигатель привода.

#### **Принцип работы электромеханического стояночного тормоза**

Работа электромеханического стояночного тормоза носит циклический характер: включение – выключение.

**Включение стояночного тормоза** производится нажатием кнопки на центральной консоли. При этом активируется электродвигатель, который

посредством редуктора и винтового привода производит притягивание тормозных колодок к тормозному диску. Тормозной диск жестко фиксируется.

**Выключение электромеханического стояночного тормоза** производится автоматически при трогании автомобиля с места. Предусмотрено выключение тормоза вручную при нажатой педали тормоза. При выключении стояночного тормоза блок управления анализирует следующие параметры:

- величину уклона;
- положение педали газа (*от блока управления двигателем*);
- положение и скорость отпускания педали сцепления.

Это позволяет производить своевременное выключение стояночного тормоза, в том числе выключение с временной задержкой, предотвращающее откатывание автомобиля при трогании на подъеме.

## **Лекция 11 Тема 6 СИСТЕМА ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Современный автомобиль является источником повышенной опасности. Неуклонный рост мощности и скорости автомобиля, плотности движения автомобильных потоков значительно увеличивают вероятность аварийной ситуации.

Для защиты пассажиров при аварии активно разрабатываются и внедряются технические устройства безопасности. В конце 50-х годов прошлого века появились ремни безопасности, предназначенные для удержания пассажиров на своих местах при столкновении. В начале 80-х годов были применены подушки безопасности.

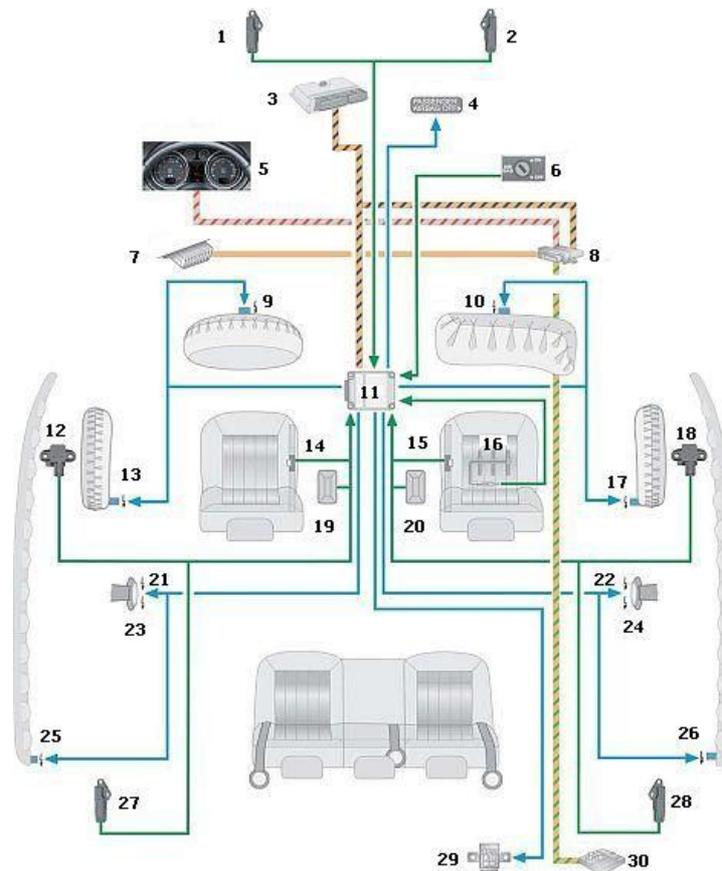
**Совокупность конструктивных элементов**, применяемых для защиты пассажиров от травм при аварии, **составляет систему пассивной безопасности автомобиля**. Система должна обеспечивать защиту не только пассажиров и конкретного автомобиля, но и других участников дорожного движения.

Важнейшими компонентами системы пассивной безопасности автомобиля являются:

- ремни безопасности;
- натяжители ремней безопасности;
- активные подголовники;
- подушки безопасности;
- кузов автомобиля, устойчивый к деформации;
- аварийный размыкатель аккумуляторной батареи;
- ряд других устройств (система защиты при опрокидывании на кабrioлете; детские системы безопасности - крепления, кресла, ремни безопасности).

### **Схема системы пассивной безопасности**

1. датчик удара фронтальной подушки безопасности водителя
2. датчик удара фронтальной подушки безопасности переднего пассажира
3. блок управления двигателем
4. контрольная лампа подушки безопасности переднего пассажира
5. контрольная лампа предупреждения о непристегнутых ремнях безопасности
6. выключатель подушки безопасности переднего пассажира
7. диагностический вывод
8. межсетевой интерфейс
9. пиропатрон подушки безопасности водителя



10. пиропатрон подушки безопасности переднего пассажира
11. блок управления системой пассивной безопасности
12. датчик удара боковой подушки безопасности водителя
13. пиропатрон боковой подушки безопасности водителя
14. датчик положения сидения водителя
15. датчик положения сидения переднего пассажира
16. датчик занятости сидения переднего пассажира
17. пиропатрон боковой подушки безопасности переднего пассажира
18. датчик удара боковой подушки безопасности переднего пассажира
19. выключатель замка ремня безопасности водителя
20. выключатель замка ремня безопасности переднего пассажира
21. пиропатрон натяжителя ремня безопасности водителя
22. пиропатрон натяжителя ремня безопасности переднего пассажира
23. ограничитель усилия натяжителя ремня безопасности водителя
24. ограничитель усилия натяжителя ремня безопасности переднего пассажира
25. пиропатрон головной подушки безопасности левый
26. пиропатрон головной подушки безопасности правый
27. датчик удара задний боковой подушки безопасности водителя
28. датчик удара задний боковой подушки безопасности переднего пассажира
29. пиропатрон аварийного размыкателя аккумуляторной батареи
30. центральный блок управления системы комфорта

Современная система пассивной безопасности автомобиля имеет электронное управление, обеспечивающее эффективное взаимодействие большинства компонентов.

**Система управления включает:**

- входные датчики;
- блок управления;
- исполнительные устройства компонентов системы.

**Входные датчики** фиксируют параметры, при которых возникает аварийная ситуация, и преобразуют их в электрические сигналы. К входным датчикам относятся:

- датчик удара;
- выключатель замка ремня безопасности;
- датчик занятости сидения переднего пассажира;
- датчик положения сидения водителя и переднего пассажира.

На каждую из сторон автомобиля устанавливается, как правило, по **два датчика удара**. Они обеспечивают работу соответствующих подушек безопасности. В задней части датчики удара применяются при оборудовании автомобиля активными подголовниками с электрическим приводом.

**Выключатель замка ремня безопасности** фиксирует использование ремня безопасности.

**Датчик занятости сидения** переднего пассажира позволяет в случае аварийной ситуации и отсутствии на переднем сидении пассажира сохранить соответствующую подушку безопасности.

В зависимости от положения сидения водителя и переднего пассажира, которое фиксируется соответствующими датчиками, **изменяется порядок и интенсивность применения компонентов системы**.

На основании сравнения сигналов датчиков с контрольными параметрами блок управления распознает наступление аварийной ситуации и активизирует необходимые **исполнительные устройства элементов системы**.

**Исполнительными устройствами** элементов системы пассивной безопасности являются:

- пиропатрон подушки безопасности;
- пиропатрон натяжителя ремня безопасности;
- пиропатрон (реле) аварийного размыкателя аккумуляторной батареи;
- пиропатрон механизма привода активных подголовников (при использовании подголовников с электрическим приводом);
- контрольная лампа, сигнализирующая о непристегнутых ремнях безопасности.

**Активизация исполнительных устройств** производится в определенном сочетании в соответствии с заложенным программным обеспечением.

**При фронтальном ударе** в зависимости от его силы могут сработать:

- натяжители ремней безопасности;
- фронтальные подушки безопасности и натяжители ремней безопасности.

**При фронтально-диагональном ударе** в зависимости от его силы и угла столкновения могут сработать:

- натяжители ремней безопасности;
- фронтальные подушки безопасности и натяжители ремней безопасности;
- соответствующие (правые или левые) боковые подушки безопасности и натяжители ремней безопасности:
- соответствующие боковые подушки безопасности, головные подушки безопасности и натяжители ремней безопасности;
- фронтальные подушки безопасности, соответствующие боковые подушки безопасности, головные подушки безопасности и натяжители ремней безопасности.

**При боковом ударе** в зависимости от силы удара могут сработать:

- соответствующие боковые подушки безопасности и натяжители ремней безопасности;
- соответствующие головные подушки безопасности и натяжители ремней безопасности;
- соответствующие боковые подушки безопасности, головные подушки безопасности и натяжители ремней безопасности.

**При ударе сзади** в зависимости от силы удара могут сработать:

- натяжители ремней безопасности;
- размыкатель аккумуляторной батареи;
- активные подголовники.

### **Ремни безопасности**

Самым распространенным средством пассивной безопасности современного автомобиля являются ремни безопасности. Ремни безопасности предназначены для предотвращения перемещения и удержания человека на месте в автомобиле при аварии.

#### **Историческая справка:**

**1957** – производство поясных ремней безопасности

**1958** – получение патента Нильсом Болином на трехточечный ремень безопасности

**1959** – производство трехточечных ремней безопасности

**1969** – установка автоматического механизма смотки ремня безопасности

**1979** – установка регулятора ремня безопасности по высоте плеча человека

**1980** – установка натяжителя ремня безопасности пассажира вместе с подушкой безопасности водителя

**По числу мест крепления** различают следующие виды ремней безопасности:

- двухточечные ремни безопасности (поясные);
- трехточечные ремни безопасности (диагонально-поясные);
- четырехточечные ремни безопасности;
- пятиточечные ремни безопасности.

**Двухточечные ремни безопасности** в настоящее время применяются в качестве среднего ремня на заднем сидении отдельных марок автомобилей, а также в самолетах.

**Трехточечные ремни безопасности** являются основным видом ремня безопасности и устанавливаются на всех современных автомобилях.

**Четырехточечные ремни безопасности** устанавливаются на спортивные автомобили. Для серийных автомобилей являются перспективной конструкцией, так как для установки ремня необходимы дополнительные верхние крепления ремня, которые не предусмотрены в конструкции автомобиля.

**Пятиточечные ремни безопасности** используются на спортивных автомобилях, а также для закрепления детей на детских автомобильных сидениях.

**Ремень безопасности** имеет следующее устройство:

- лямка;
- замок;
- втягивающее устройство с инерционной катушкой.

Лямка ремня безопасности изготавливается из прочного материала. Лямка крепится к кузову с помощью специальных устройств в тех точках: на стойке, на пороге и на специальной тяге с замком.

**Замок** устанавливается возле сиденья. Для содействия в применении ремня безопасности в конструкции замка предусматривается выключатель с индикацией (контрольной лампой) на панели приборов.

**Втягивающее устройство** крепиться на стойке кузова автомобиля. На современных автомобилях положение втягивающего устройства регулируется по высоте плеча человека.

**Принцип действия ремней безопасности** основан на блокировании. При столкновении автомобиля с препятствием тело человека по инерции продолжает двигаться вперед. В этот момент ремень безопасности блокируется, фиксируя человека в сидении.

Существует **два способа блокировки**:

- блокировка в результате движения (инерции) автомобиля.
- блокировка в результате движения самого ремня безопасности.

Современные автомобили оснащаются ремнями безопасности с натяжителями.

### **Натяжитель ремня безопасности**

Современные автомобили оснащаются ремнями безопасности с натяжителями (преднатяжителями). Натяжитель ремня безопасности предназначен для заблаговременного предотвращения перемещение челове-

ка вперёд (относительно движения автомобиля) при аварии. Это достигается за счет сматывания и уменьшения свободы прилегания ремня безопасности.

Натяжитель обеспечивает сматывание отрезка ремня безопасности длиной **до 130 мм за время 13 мс**.

Нередко под натяжителем ремня безопасности ошибочно понимают втягивающее устройство ремня безопасности.

Натяжители, как правило, устанавливаются на замке ремня безопасности. Реже натяжители устанавливаются на втягивающем устройстве ремня безопасности.

**По принципу действия** различают следующие конструкции натяжителей ремней безопасности:

- тросовый;
- шариковый;
- роторный;
- реечный;
- ленточный.

Указанные конструкции натяжителей **оснащаются механическим или электрическим приводом**. Привод натяжителя представляет собой способ воспламенения пиропатрона:

– механический привод основывается на воспламенении пиропатрона механическим способом (накалывание бойком);

– электрический привод предполагает воспламенение пиропатрона электрическим сигналом от электронного блока управления (или от отдельного датчика).

Работа натяжителей ремней безопасности в зависимости от конструкции может осуществляться как в составе системы пассивной безопасности, так и автономно.

**При аварии задние датчики удара** передают соответствующий сигнал в блок управления, который активирует пиропатрон и приводит в действие натяжители ремней безопасности.

Для предотвращения значительных нагрузок на пассажиров при аварии, натяжитель **оснащается ограничителем усилия натяжения ремня безопасности**. Ограничитель при определённой нагрузке ослабляет действие ремня безопасности на человека.

Простейшим ограничителем усилия натяжения ремня безопасности является петля, прошитая на ремне безопасности. При превышении определённого усилия натяжения ремня безопасности швы в петле рвутся, и ремень становится длиннее.

В современных конструкциях усилие натяжения ремня безопасности ограничивается торсионным валом в катушке ремня безопасности. В зависимости от усилия натяжения ремня безопасности торсионный вал скручивается, уменьшая нагрузку.

## **Подушки безопасности**

Подушки безопасности автомобиля (общепринятое мировое название - **airbag**) предназначены для смягчения удара пассажиров в случае автомобильной аварии.

**Историческая справка:**

**1953** – получение Вальтером Линдерером патента на подушку безопасности

**1980** – установка подушки безопасности водителя

**1994** – появление боковых подушек безопасности

В зависимости от направления сил, действующих на автомобиль при аварии, различают следующие виды подушек безопасности:

- фронтальные подушки безопасности;
- боковые подушки безопасности;
- головные подушки безопасности («шторки»);
- коленные подушки безопасности.

Подушка безопасности представляет собой эластичную оболочку, наполняемую газом, и газогенератор.

Газогенератор служит для наполнения оболочки подушки газом. В совокупности оболочка и газогенератор образуют модуль подушки безопасности.

Различают следующие конструкции газогенераторов :

- по форме - куполообразные и трубчатые;
- по характеру работы - с одноступенчатым и двухступенчатым срабатыванием;
- по способу газообразования - твердотопливные и гибридные.

На различных видах подушек безопасности используются следующие газогенераторы:

Вид подушки безопасности	Характеристика газогенератора
фронтальная подушка безопасности водителя	куполообразный; с одноступенчатым или двухступенчатым срабатыванием; твердотопливный или гибридный; располагается в рулевом колесе
фронтальная подушка безопасности пассажира	трубчатый; с одноступенчатым или двухступенчатым срабатыванием; твердотопливный или гибридный; располагается в верхней правой части передней панели
боковая подушка безопасности	трубчатый; с одноступенчатым срабатыванием; твердотопливный или гибридный; располагается на переднем сидении - в спинке, на заднем сидении - в спинке или боковой обшивке

головная подушка безопасности	трубчатый; с одноступенчатым срабатыванием; гибридный; располагается в зависимости от модели автомобиля в передней части крыши, между стойками, в задней части крыши
-------------------------------	---

**Твердотопливный газогенератор** состоит из корпуса, пиропатрона и заряда твердого топлива. Воспламенение топлива происходит от пиропатрона и сопровождается образованием газа азота.

**Гибридный газогенератор** состоит из корпуса, пиропатрона, заряда твердого топлива и газового заряда под высоким давлением. Наполнение подушки безопасности происходит сжатым газом, который освобождается выталкивающим зарядом из твердого топлива.

**Система управления подушками безопасности** объединяет традиционные компоненты:

- датчики удара;
- блок управления;
- исполнительное устройство (пиропатрон газогенератора);

#### **Принцип действия подушек безопасности**

Активация подушек безопасности происходит при ударе. В зависимости от направления удара активируются только определённые подушки безопасности.

Если сила удара превышает заданный уровень, датчики удара передают сигнал в блок управления. После обработки данных всех датчиков блок управления определяет необходимость и время срабатывания подушек безопасности и других компонентов системы пассивной безопасности.

В зависимости от типа и степени тяжести аварии могут срабатывать, например, только натяжители ремней безопасности или натяжители ремней безопасности вместе с подушками безопасности. Блок управления подает электрический сигнал для включения газогенераторов соответствующих подушек безопасности. Газогенератор обеспечивает раскрытие и надувание газом подушки. После соприкосновения с человеком подушка разрывается и сдувается.

Подушки безопасности являются одноразовыми устройствами.

Условия срабатывания подушек безопасности

**Фронтальные подушки безопасности срабатывают** при следующих условиях:

- превышение силы лобового удара заданной величины;
- наезд на твердый прочный предмет (бордюр, край тротуара, стенка ямы);
- жесткое приземление после прыжка;
- падение автомобиля;
- косой удар в переднюю часть автомобиля.

**Фронтальные подушки безопасности не срабатывают** при ударе автомобиля сзади, боковом ударе, опрокидывании автомобиля.

Условием срабатывания боковых и головных подушек безопасности является превышение силы бокового удара заданной величины.

### **Активные подголовники**

**Подголовники предназначены** для снижения вероятности травмирования шейного отдела позвоночника при аварии.

Различают **активные и пассивные** подголовники.

**В пассивных системах** безопасность шейного отдела позвоночника достигается за счет конструкции сиденья и подголовника.

**Активный подголовник** при аварии приближается к голове, тем самым уменьшается вероятность травмирования шейного отдела позвоночника.

Конструкция активного подголовника может иметь следующие виды привода:

- механический;
- электрический.

Механический привод более простой. При аварии инерционное движение человека в сидении автомобиля передаётся через рычажный механизм к подголовнику, который перемещается к голове. Как только давление на спинку сидения снижается, пружина возвращает подголовник в исходное положение.

Реализация электрического привода активного подголовника предполагает наличие электронной системы управления. В состав системы управления входят датчики удара, блок управления и собственно механизм привода. Основу механизма составляет пиропатрон с электрическим воспламенением.

Датчики удара устанавливаются в задней части автомобиля. Сигналы от датчиков принимает общий блок управления элементами пассивной безопасности. В зависимости от силы и направления удара он регулирует работу привода.

### **Кузов автомобиля**

Кузов является важным элементом системы пассивной безопасности современного автомобиля. Он представляет собой конструкцию, предназначенную для выживания водителя и пассажиров.

**Конструкция кузова автомобиля разрабатывается исходя из следующих принципов:**

- для поглощения энергии столкновения передняя и задняя части автомобиля должны быть деформируемыми;
- для выживания пассажиров каркас салона автомобиля должен иметь максимальную жесткость и прочность.

Деформация передней и задней части автомобиля обеспечивается путем продольного складывания, т.н. "гармошки". Для этого коробчатые

профили, из которых изготавливается кузов, имеют углубления и выступы в определенных расчетных местах - точках концентрации напряжений.

При расчете передней части автомобиля учитываются дополнительные силы инерции и жесткость таких элементов, как двигатель и колеса.

Чтобы силовая конструкция кузова могла соответствовать предъявляемым требованиям, в ней используются прочные и особо прочные стали.

В сильно нагруженных зонах каркаса салона используются конструктивные элементы, изготовленные методом горячей штамповки. Применение таких элементов позволяет уменьшить массу кузова и обеспечить более высокую жесткость каркаса салона в случае аварии.

При фронтальном столкновении особое внимание уделяется минимизации смещения элементов конструкции автомобиля в пространство для ног водителя и пассажира.

**Требования к прочности кузова** при ударе сзади складываются из жесткости каркаса салона и деформируемости задней части кузова. Защита топливной системы от удара сзади обеспечивается геометрией задней подвески и расположением топливного бака.

При боковом столкновении важнейшими конструктивными элементами, воспринимающими основную энергию бокового удара, являются средняя стойка и двери. При их изготовлении используются сверхвысокопрочные материалы. Центральным звеном системы является средняя стойка, которая переносит возникающие силы на порог и каркас крыши. Двери, усиленные диагональными брусками безопасности, также гасят чрезмерную энергию столкновения. Таким образом, при боковом столкновении достигается невысокая скорость смятия и минимальное смещение конструктивных элементов внутрь салона.

В ряде моделей автомобилей наряду со стальными элементами кузова применяются алюминиевые конструкции. Благодаря рациональному использованию стали и алюминия обеспечиваются высокие показатели по прочности и жесткости конструкции и сбалансированное распределение веса.

Для снижения вероятности травмирования пешеходов в переднем бампере автомобиля используется эластичный ударопоглощающий (защитный) элемент. Он позволяет достичь определенной зоны деформации передней части кузова при ударе.

### **Аварийный размыкатель аккумуляторной батареи**

Аварийный размыкатель предназначен для предотвращения короткого замыкания в электрической системе и возможного возгорания автомобиля. Аварийным размыкателем аккумуляторной батареи оснащаются автомобили, у которых аккумуляторная батарея установлена в салоне или багажном отделении.

Различают следующие конструкции аварийного размыкателя:

– пиропатрон отключения аккумуляторной батареи;

– реле отключения аккумуляторной батареи.

Пиропатрон отключения устанавливается на положительной клемме аккумуляторной батареи. Пиропатрон срабатывает по команде блока управления системы пассивной безопасности. Размыкание производится за счет газов, возникающих при срабатывании пиропатрона.

Реле отключения срабатывает также по команде блока управления.

Активированный при аварии пиропатрон или реле подлежат замене.

## **Обслуживание систем пассивной безопасности**

### **Меры предосторожности**

Неквалифицированное обслуживание системы пассивной безопасности может привести к несанкционированному срабатыванию подушки безопасности, что, в свою очередь, приведет к травме той или иной степени тяжести.

Ошибки, допущенные при неквалифицированном обслуживании, могут привести к отказу работы системы в нужный момент с непредсказуемыми последствиями.

### **Меры безопасности при проведении обслуживания и ремонта SRS**

1. После перевода ключа замка зажигания в положение LOCK и отсоединения отрицательного провода от аккумулятора подождите не менее 30 с, прежде чем приступить к дальнейшей работе.

Система SRS сконструирована таким образом, что после отключения аккумулятора на короткое время сохраняется достаточное напряжение для срабатывания подушки безопасности.

2. После отсоединения аккумуляторной батареи память некоторых электронных устройств (часы, радио и т.п.) стирается. Перед началом работ запишите основные настройки указанных устройств и восстановите их после завершения ремонта.

3. Неисправности системы пассивной безопасности себя практически никак не проявляют, поэтому основной формой диагностики системы является проверка наличия кодов неисправностей.

4. Всегда перед отсоединением аккумуляторной батареи считывайте коды неисправностей.

5. Никогда не устанавливайте на автомобиль детали системы с другого автомобиля. Устанавливайте только новые детали.

6. Никогда не разбирайте блоки подушек безопасности и часовую пружину. При неисправности проводки системы заменяйте весь жгут проводов.

7. Если случайно компонент системы упал с более или менее приличной высоты или имеются трещины или деформация корпуса, замените этот компонент.

8. После завершения обслуживания проведите проверку системы. Контрольная лампа SRS в некоторых случаях может указывать на неисправность в других цепях систем автомобиля. Если контрольная лампа зажглась, удалите коды неисправностей с помощью тестера сразу после ремонта или замены дефектных деталей, включая предохранитель.

9. При проведении сварочных работ на автомобиле не отсоединяйте кабель отрицательной клеммы аккумуляторной батареи.

10. Никогда не пытайтесь измерить сопротивление электрозапала – это может привести к подрыву подушки безопасности и несчастному случаю.

11. Не допускайте нагрева модуля подушки до температуры выше 93°C. Не храните подушку в условиях повышенной влажности и вдали от силовых электрических кабелей.

12. При проведении сварочных работ отсоединяйте разъем подушки безопасности (под рулевой колонкой, рядом с комбинированным выключателем).

### **Остаточное питание**

Электронный блок управления SRS накапливает некоторое количество электроэнергии, достаточное для проведения подрыва подушки в течение некоторого времени после отключения основного питания в результате столкновения.

### **Контрольная лампа неисправности**

При возникновении неисправности блок управления зажигает контрольную лампу для информирования водителя о неполадках в системе. После включения зажигания шесть миганий лампы говорят о нормальном состоянии системы.

### **Жгут проводов SRS**

Проводка системы пассивной безопасности окрашена в желтый цвет для выделения из проводки автомобиля. В разъемах модулей подушек безопасности и преднатяжителя ремня безопасности встроена закорачивающая предохранительная перемычка. При разъединении разъема перемычка предотвращает несанкционированный подрыв подушки безопасности.

## ТЕМА 7 ОБМЕН ДАННЫМИ ПОСРЕДСТВОМ ШИНЫ CAN

### Введение

Требования к безопасности движения, уровню комфортабельности при езде, токсичности ОГ и расходу топлива постоянно возрастают. В связи с этим увеличивается необходимость все более интенсивного обмена информацией между блоками управления. Для решения задач обмена информацией требуется оптимальное техническое решение, так чтобы электронная и электрическая системы оставались удобными для визуального наблюдения и вместе с тем не занимали слишком много места. Таким решением является **CAN-Datenbus** от ф. Bosch. Впервые идея **CAN** была предложена в середине 80-х немецкой компанией Robert Bosch, которая задумывала ее в качестве экономичного средства для объединения контроллеров, расположенных внутри автомобиля. **CAN** расшифровывается как **Controller Area Network**, и это значит, что блоки управления связаны между собой в единую сеть и между ними происходит обмен данными.

Применяемая на автомобилях система CAN позволяет установить связь между отдельными электронными блоками управления. При эксплуатации автомобиля и при диагностике его агрегатов эта система предоставляет возможность использования новых функций, которые не могут быть возложены на отдельно действующие блоки управления.

Высокая степень и надежности сети благодаря развитым механизмам обнаружения и исправления ошибок, самоизоляции неисправных узлов, нечувствительность к высокому уровню электромагнитных помех обеспечивает сети широчайшую сферу применения.

Среди многочисленных факторов, обеспечивших взлет популярности CAN в последние годы, следует отметить разнообразие элементной базы CAN и ее дешевизну.

Немалую роль играет и возможность поддержки разнотипных физических сред передачи данных  $\approx$  от дешевой витой пары до оптоволокна и радиоканала. А ряд оригинальных механизмов сетевого взаимодействия (мультимастерность, широковещание, побитовый арбитраж) в сочетании с высокой скоростью передачи данных (до 1 Мбит/с) способствуют эффективной реализации режима реального времени в системах распределенного управления.

### Стадии развития системы

Фирма Volkswagen впервые применила шину данных со скоростью передачи 62,5 кбит/с на автомобиле Passat модельного года 1997, оснащенного системой "Комфорт".

Разработка системы прошла следующие стадии:



Модельный год 1998. Шина данных CAN силового агрегата на автомобилях Golf и Passat. Скорость передачи данных 500 кбит/с.



Модельный год 2000. Применен шлюз для связи шины CAN с диагностическим кабелем "K" на автомобилях Golf и Passat.



Модельный год 2000. На автомобилях концерна используется унифицированная шина CAN системы "Комфорт" со скоростью передачи 100 кбит/с. Этой системой оснащены, например, автомобили SKODA Fabia. На этих же автомобилях используется шлюз для связи между шинами данных CAN силового агрегата и системы "Комфорт".



Модельный год 2001. Унифицированная в пределах концерна шина данных CAN системы "Комфорт" со скоростью передачи 100 кбит/с применена на ряде автомобилей, например, на автомобилях Passat.



### **Обращение с шиной данных CAN**

Шина CAN является обособленной системой электронного оборудования автомобиля. Она служит для обмена данными между подключенными к ней блоками управления.

Благодаря особому исполнению и структуре эта система работает очень надежно.

Если возникают какие-либо неисправности (в системах автомобиля), они обязательно фиксируются в соответствующих регистраторах неисправностей и могут быть затем считаны с помощью диагностического прибора.

- Блоки управления наделены функциями самодиагностики, с помощью которых могут распознаваться неисправности, связанные с функционированием шины CAN.

- После вывода данных о неисправностях шины CAN с помощью диагностических приборов (например, VAS 5051 или 5052) может быть проведен целенаправленный поиск причин этих неисправностей.

- Записи в регистраторах неисправностей блоков управления используются для первоначального обнаружения дефектов. Помимо этого они свидетельствуют об устранении неисправностей после проведения ремонтных работ. Чтобы обновить регистрируемые данные, необходимо вновь запустить двигатель.

- Важнейшей предпосылкой статуса "Шина CAN исправна" является абсолютная надежность шины на всех режимах эксплуатации автомобиля.

Чтобы провести обработку данных, которая необходима для поиска неисправностей или же их устранения, необходимо знать основы передачи данных посредством шины

**От центрального блока управления к децентрализованной сети с несколькими блоками управления**

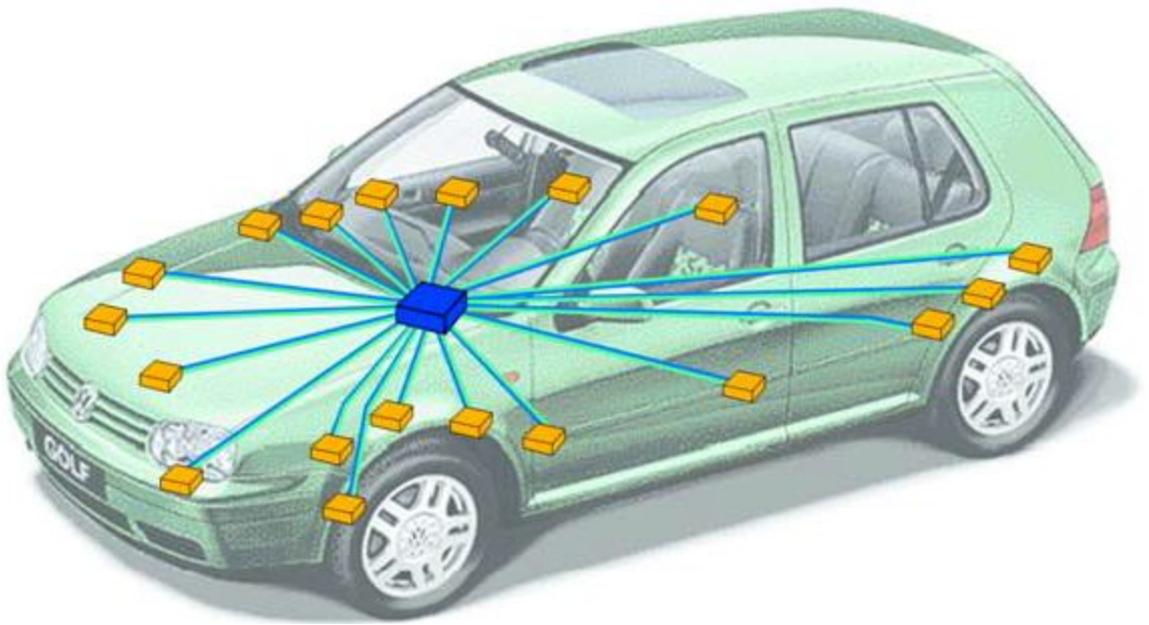


Рис. 1 Автомобиль с центральным блоком управления

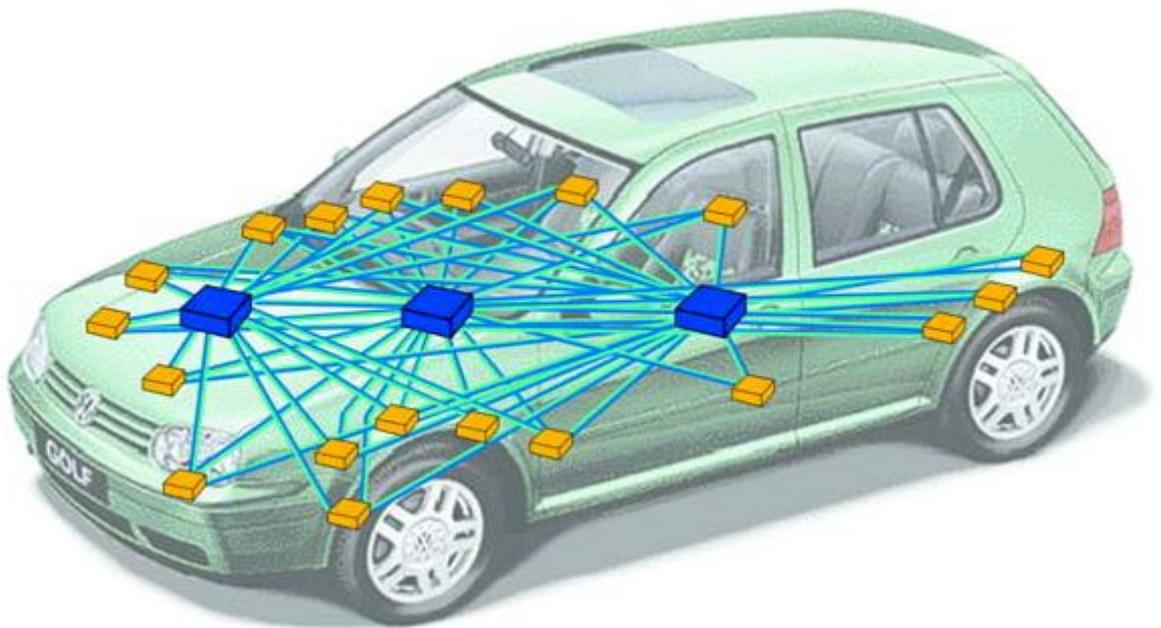


Рис. 2 Автомобиль с тремя блоками управления

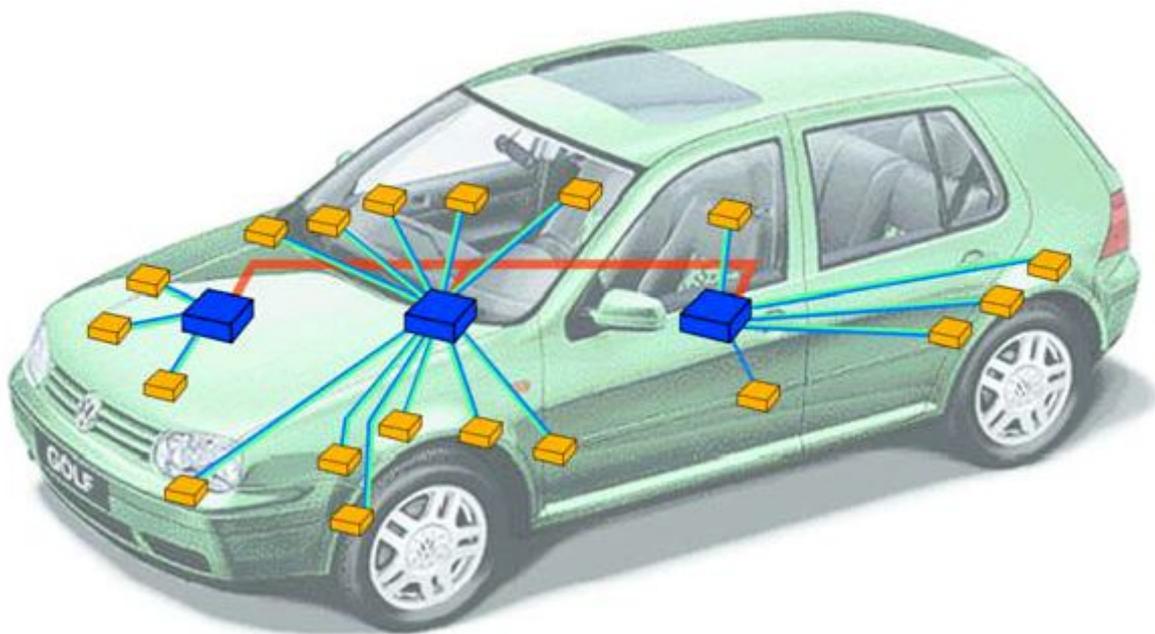


Рис. 3 Автомобиль с тремя блоками управления, объединенными в сеть посредством системы шин данных

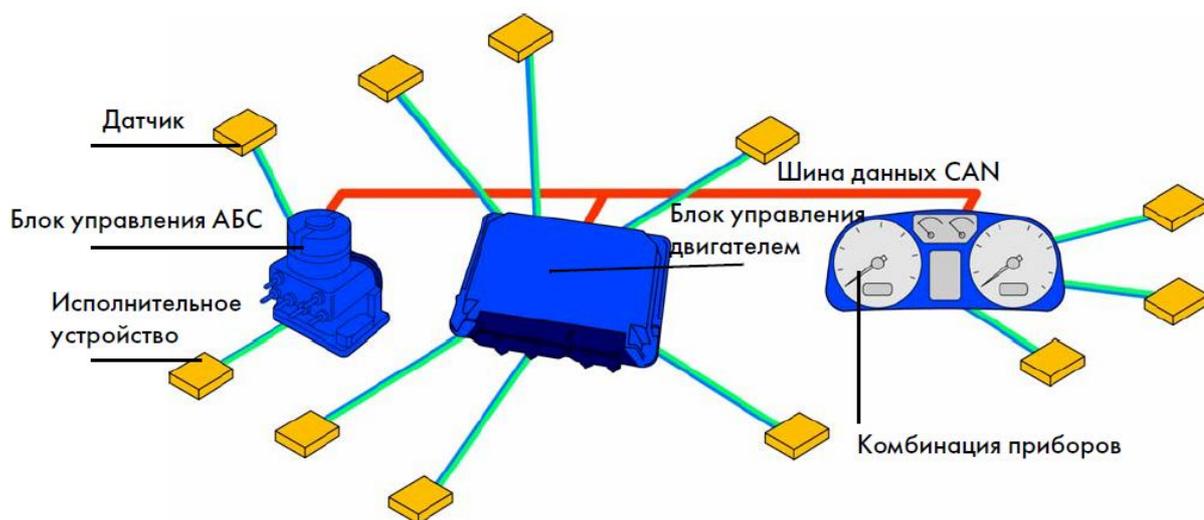


Рис. 4 Система CAN с тремя блоками управления

### 7.1 Назначение системы шин данных

Применяемая на автомобилях система CAN позволяет объединить в локальную сеть электронные блоки управления или сложные датчики, как, например, датчик угла поворота рулевого колеса.

Применение системы CAN на автомобиле дает следующие преимущества:

- обмен данными между блоками управления производится на унифицированной базе. Эту базу называют протоколом. Шина CAN служит как бы магистралью для передачи данных.

- независимо действующие системы, например, система курсовой стабилизации ESP, могут быть реализованы с меньшими затратами.
- упрощается подключение дополнительного оборудования.
- шина данных CAN является открытой системой, к которой могут быть подключены как медные провода, так и стекловолоконные проводники.
- диагностика электронных блоков управления производится посредством кабеля "К". Диагностика некоторых компонентов оборудования салона автомобиля уже сегодня производится через шину CAN (например, это подушки безопасности и блоки управления в дверях автомобиля). В данном случае речь идет о так называемом виртуальном кабеле "К".
- можно проводить одновременную диагностику нескольких блоков управления, входящих в систему.

### **Топология сети CAN.**

В любой реализации CAN - носитель (физическая среда передачи данных) интерпретируется как эфир, в котором контроллеры, работают как приемники и передатчики. При этом, начав передачу, контроллер не прерывает слушание эфира, в частности он отслеживает и контролирует процесс передачи текущих, передаваемых им же, данных. Это означает, что все узлы сети одновременно принимают сигналы, передаваемые по шине. Невозможно послать сообщение какому-либо конкретному узлу. Все узлы сети принимают весь трафик, передаваемый по шине. Однако, CAN-контроллеры предоставляют аппаратную возможность фильтрации CAN-сообщений.

**CAN сеть** предназначена для коммуникации так называемых узлов. Каждый узел состоит из двух составляющих. Это собственно **CAN контроллер**, который обеспечивает взаимодействие с сетью и реализует протокол, и микропроцессор (**CPU**).

**CAN контроллеры** соединяются с помощью шины, которая имеет как минимум два провода CAN-High и CAN-Low , по которым передаются сигналы при помощи специализированных ИМС приемо-передатчиков. Кроме того, ИМС приемо-передатчиков реализуют дополнительные сервисные функции:

- Регулировка скорости нарастания входного сигнала путем изменением тока на входе.
- Встроенная схема ограничения тока защищает выходы передатчиков от повреждения при возможных замыканиях линий CAN-High и CAN-Low с цепями питания, а также от кратковременного повышения напряжения на этих линиях.
- Внутренняя тепловая защита.
- Режим пониженного энергопотребления, в котором приемники продолжают сообщать контроллеру о состоянии шины для того, чтобы при обнаружении на шине информационных сигналов он мог вывести приемо-передатчики в нормальный режим работы.

Наиболее широкое распространение получили два типа приемопередатчиков (трансиверов):

- "High Speed" приемопередатчики (ISO 11898-2),
- "Fault Tolerant" приемопередатчики

Трансиверы, выполненные в соответствии со стандартом "High-Speed" (ISO11898-2), наиболее просты, дешевы и дают возможность передавать данные со скоростью до 1 Мбит/с. "Fault-Tolerant" приемопередатчики (не чувствительные к повреждениям на шине) позволяют построить высоконадежную малопотребляющую сеть со скоростями передачи данных не выше 125 кбит/с.

### **Физический уровень канала CAN.**

Физический уровень (Physical Layer) протокола CAN определяет сопротивление кабеля, уровень электрических сигналов в сети и т.п. Существует несколько физических уровней протокола CAN (ISO 11898, ISO 11519, SAE J2411). В подавляющем большинстве случаев используется физический уровень CAN определенный в стандарте **ISO 11898**.

**ISO 11898** в качестве среды передачи определяет двухпроводную дифференциальную линию с импедансом (терминаторы) 120 Ом (допускается колебание импеданса в пределах от 108 Ом до 132 Ом).

Максимальная скорость сети CAN в соответствие с протоколом равна 1 Mbit/s. При скорости в 1 Mbit/s максимальная длина кабеля равна примерно 40 метрам. Ограничение на длину кабеля связано с конечной скоростью распространения сигнала и механизмом побитового арбитража (во время арбитража все узлы сети должны получать текущий бит передачи одновременно, те сигнал должен успеть распространиться по всему кабелю за единичный отсчет времени в сети).

Соотношение между скоростью передачи и максимальной длиной кабеля следующее:

- 1000 Кбит/сек 40 метров;
- 500 Кбит/сек 100 метров;
- 250 Кбит/сек 200 метров;
- 125 Кбит/сек 500 метров;
- 10 Кбит/сек 6 километров.

Разъемы для сети CAN до сих пор НЕ СТАНДАРТИЗОВАНЫ. Каждый протокол высокого уровня обычно определяет свой тип разъемов для CAN-сети.

**Логический ноль** регистрируется, когда на линии CAN-High сигнал *выше*, чем на линии CAN-Low.

**Логическая единица** - в случае когда сигналы CAN-High и CAN-Low одинаковы (отличаются менее чем на 0.5 В).

Использование такой дифференциальной схемы передачи делает возможным работу CAN сети в очень сложных внешних условиях.

**Логический ноль** - называется **доминантным битом**, а **логическая единица** - **рецессивным**. Эти названия отражают приоритет логической единицы и нуля на шине CAN.

При одновременной передаче в шину логического нуля и единицы, на шине будет зарегистрирован только логический ноль (**доминантный сигнал**), а логическая единица будет подавлена (**рецессивный сигнал**).

### **Арбитраж шины CAN.**

Быстродействие CAN сети (до 1 Mbit/s) достигается благодаря механизму недеструктивного арбитража шины посредством сравнения бит конкурирующих сообщений. Т.е. если случится так что одновременно начнут передачу несколько контроллеров, то каждый из них сравнивает бит, который собирается передать на шину с битом, который пытается передать на шину конкурирующий контроллер. Если значения этих битов равны оба контроллера пытаются передать следующий бит. И так происходит до тех пор пока значения передаваемых битов не окажутся различными. Теперь контроллер, который передавал логический ноль (более приоритетный сигнал) будет продолжать передачу, а другой(другие) контроллер прервёт свою передачу до того времени пока шина вновь не освободится. Конечно, если шина в данный момент занята, то контроллер не начнет передачу до момента её освобождения.

Эта спецификация CAN исходит из предположения, что все CAN контроллеры принимают сигналы с шины одновременно. Т.е. в одно и то же время один и тот же бит принимается всеми контроллерами в сети. С одной стороны такое положение вещей делает возможным побитовый арбитраж, а с другой стороны ограничивает длину CAN bus. Сигнал распространяется по CAN bus с огромной, но конечной, скоростью и для правильной работы CAN нужно, чтобы все контроллеры "услышали" его почти одновременно. Почти, потому что каждый контроллер принимает бит в течении определённого промежутка времени, отсчитываемого системным часам. Таким образом, чем выше скорость передачи данных, тем меньшая длина CAN bus возможна.

## **7.2 Проектирование, оформление, важнейшие свойства системы**

К системе CAN параллельно подключены многочисленные компоненты.

При проектировании системы учитываются следующие требования:

- Обеспечение максимальной надежности: внутренние и наружные помехи должны быть обязательно распознаны.

- Высокая живучесть: при выходе из строя одного из блоков управления система должна продолжать функционировать, обеспечивая обмен данными между ее работоспособными компонентами.

- Высокая плотность потока данных: все блоки управления должны в каждый момент времени располагать одинаковой информацией и получать одинаковые данные; при повреждении системы все блоки управления должны получать информацию о ее неисправности.

- Высокая скорость передачи данных: обмен данными между подключенными к сети компонентами должен производиться как можно быстрее, чтобы обеспечить требования передачи в реальном времени.

Сигналы передаются шиной CAN в цифровом виде; в настоящее время для их передачи используются медные провода. При этом надежно обеспечивается скорость передачи данных до 1000 кбит/с (1 Мбит/с).

Ввиду различных требований к тактовой частоте и к объему передаваемой информации систему CAN делят на три отдельные системы:

- с шиной CAN силового агрегата (High-Speed), передача данных через которую производится со скоростью 500 кбит/с, практически обеспечивающей работу системы в реальном времени;

- с шиной CAN системы "Комфорт" (Low-Speed), передача данных через которую производится со скоростью 100 кбит/с, удовлетворяющей невысоким требованиям к ней;

- с шиной CAN информационно-командной системы (Low-Speed), передача данных через которую производится также со скоростью 100 кбит/с, соответствующей относительно невысоким требованиям.

### 7.2.1 Свойства проводов шины CAN

По этим проводам производится обмен данными между блоками управления. Эти данные несут информацию, например, о частоте вращения коленчатого вала, уровне топлива в баке и скорости автомобиля.

В жгутах проводов провода шины CAN отмечены оранжевым цветом в качестве базовой окраски (Рис. 5).

Два скрученные между собой провода образуют пару (Twisted Pair).



Рис. 5 Двухпроводной кабель

Провод High шины CAN силового агрегата дополнительно помечен черным цветом. Провод High шины CAN системы "Комфорт" дополнительно помечен зеленым цветом, а такой же провод у шины CAN информационно-командной системы помечен фиолетовым цветом. Провода Low всех шин CAN дополнительно помечены коричневым цветом.

На рисунках провода шин CAN обозначены для наглядности и в соответствии с изображениями на дисплее прибора **VAS 5051** одним цветом, а именно желтым или зеленым.

При этом провод CAN-High обозначен всегда желтым цветом, а провод CAN-Low – зеленым цветом.



Рис. 6 Изображение проводов CAN-High и CAN-Low пары **Twisted Pair**, на рисунках и схемах

**Шину CAN системы "Комфорт" и информационно-командной системы** относят к медленным шинам (**Low-Speed-CAN**), а **шину CAN**

**силового агрегата** считают быстродействующей шиной (**High-Speed-CAN**).

Все связанные через шину CAN блоки управления подключаются к ней параллельно.

Один из проводов шины CAN называется верхним (CAN-High), а другой – нижним (CAN-Low).

### 7.2.2 Схема соединений шин CAN

Применяемые шины отличаются древовидной структурой соединений с блоками управления, которые в стандарте на шину CAN не оговорены. Такая структура соединений позволяет оптимизировать прокладку проводов между блоками управления.

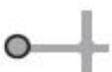
Схема соединений шины CAN называется ее топологией. Она зависит от модели конкретного автомобиля (рис. 6).



Шлюз в комбинации приборов



Разъем на автомобиле



Диагностический кабель "К"



Виртуальный кабель "К"



Блоки управления, которые предполагается установить

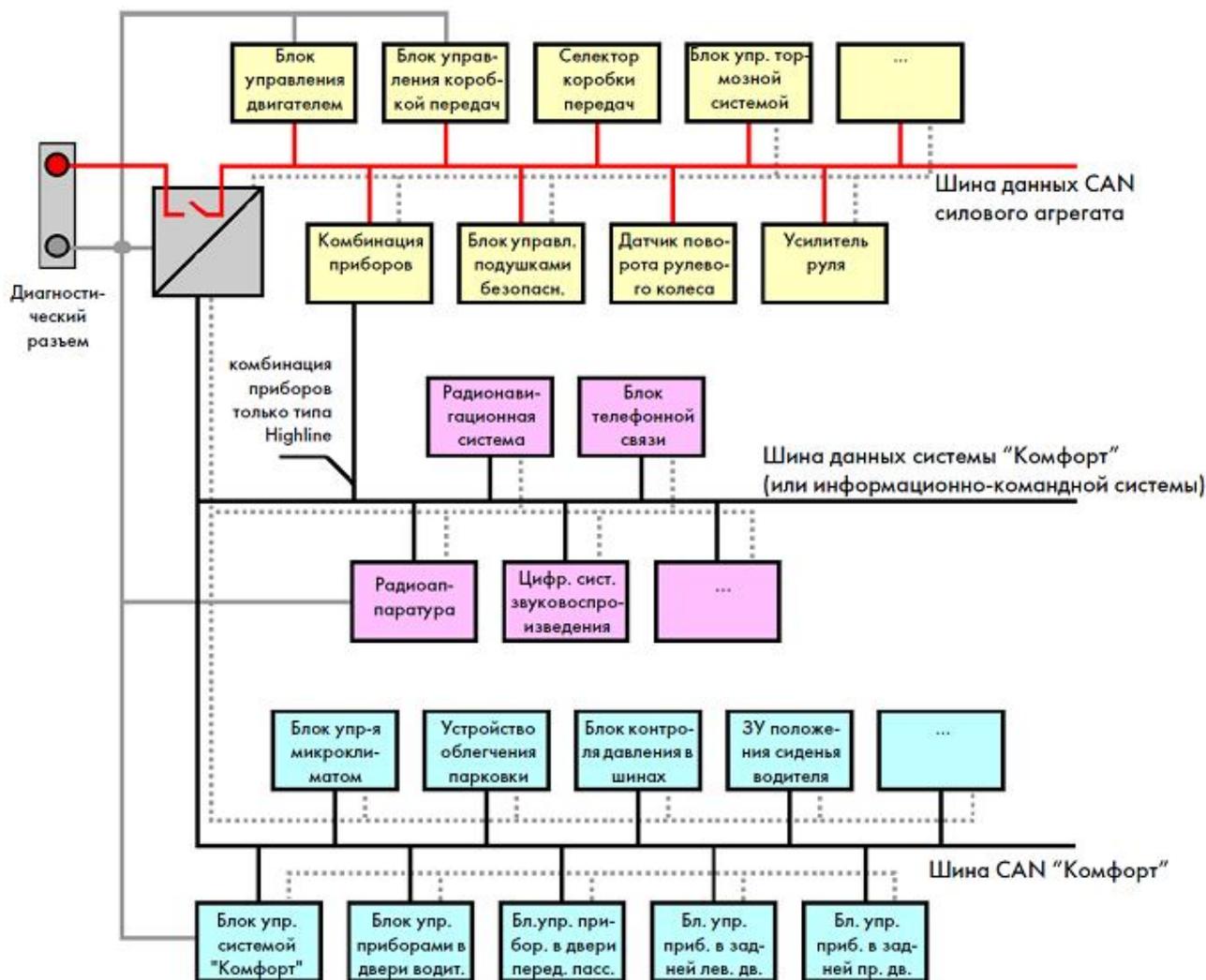


Рис. 6 Система CAN (на примере автомобиля Polo модельного года 2002)

## 7.3 Структура сети

### 7.3.1 Принцип построения сети

Сеть объединяет несколько блоков управления. Блоки управления подключаются к ней через трансиверы (приемопередатчики). Таким образом все отдельные станции сети находятся в одинаковых условиях. То есть все блоки управления равнозначны и ни один из них не имеет приоритета. При этом говорят о так называемой многоабонентской архитектуре. Обмен информацией производится путем передачи последовательных сигналов. Принципиально шина CAN может работать с одним соединительным проводом! Однако, систему оснащают вторым соединительным проводом. По второму проводу сигналы передаются в обратном порядке. Передача сигналов в обратном порядке помогает подавлению внешних помех.

Чтобы упростить описание принципа передачи данных, в дальнейшем рассматривается шина только с одним соединительным проводом (рис. 7).

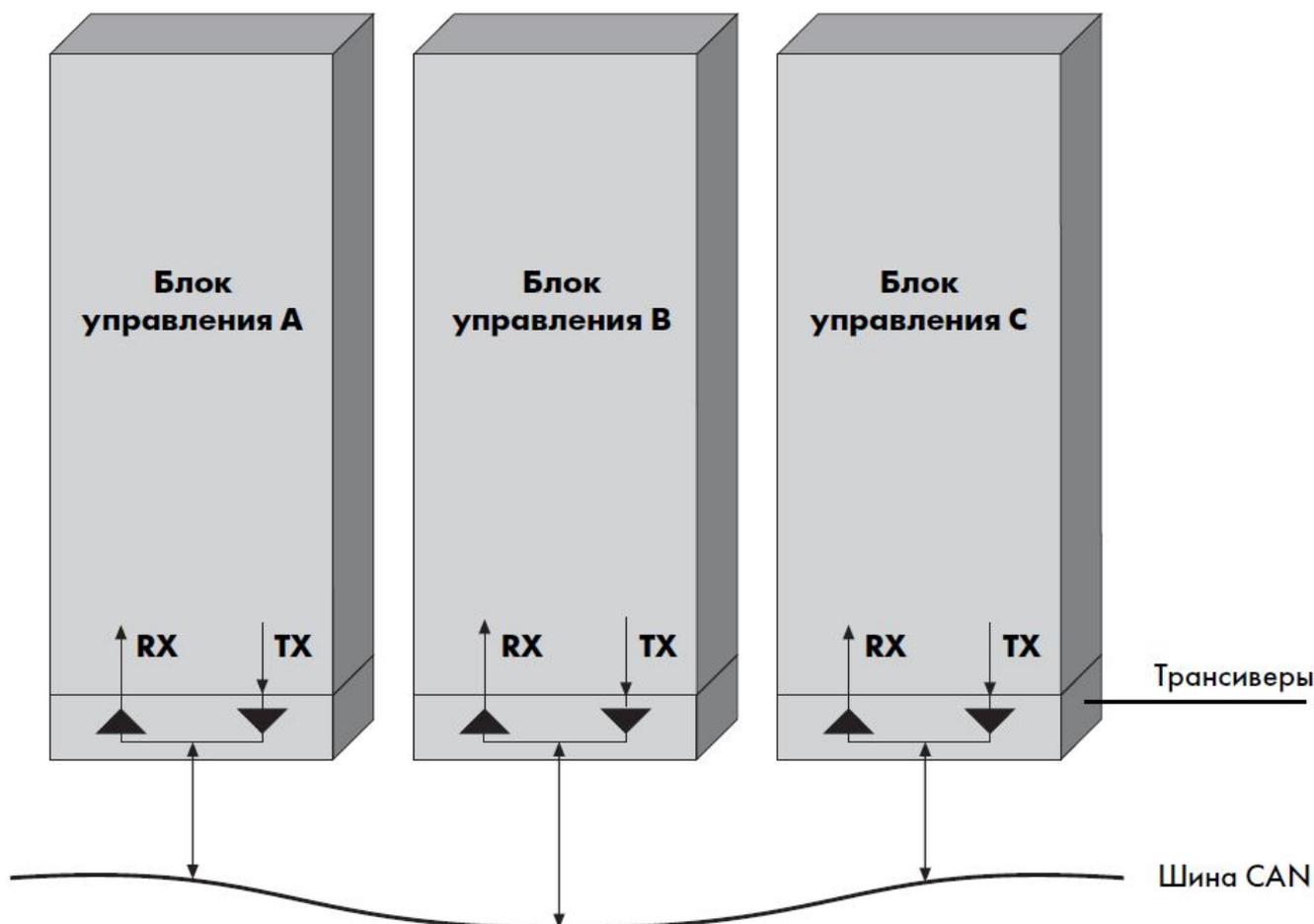


Рис. 7 Принцип образования сети

### 7.3.2 Процесс обмена информацией

Обмениваемая информация состоит из отдельных посланий. Эти послания могут быть отправлены и получены каждым из блоков управления.

Каждое из посланий содержит данные, о каком-либо физическом параметре, например, о частоте вращения коленчатого вала. При этом величина частоты вращения представляется в двоичной форме, т.е. как последовательность нулей и единиц или бит. Например, значение частоты вращения двигателя **1800 об/мин** может быть представлено как двоичное число **00010101**.

При передаче сигналов каждое число в двоичном представлении преобразуется в поток последовательных импульсов (бит). Эти импульсы поступают через провод **TX (передающий провод)** на вход *трансивера (усилителя)*. Трансивер преобразует последовательности импульсов тока в соответствующие сигналы напряжения, которые затем последовательно передаются на провод шины.

При приеме сигналов трансивер преобразует импульсы напряжения в последовательности бит и передает их через провод **RX (приемный провод)** на блок управления. В блоке управления последовательности двоичных сигналов вновь преобразуются в данные посланий.

Например, двоичное число **00010101** преобразуется в частоту вращения **1800 об/мин**.

Передаваемое послание может быть принято каждым из блоков управления.

Этот принцип передачи данных называют широковещательным, так как он подобен принципу работы широковещательной радиостанции, сигналы которой принимаются каждым пользователем радиосети.

Этот принцип передачи данных обеспечивает получение в каждый момент времени одинаковой информации всеми блоками управления, подключенными к сети (рис. 8,9).

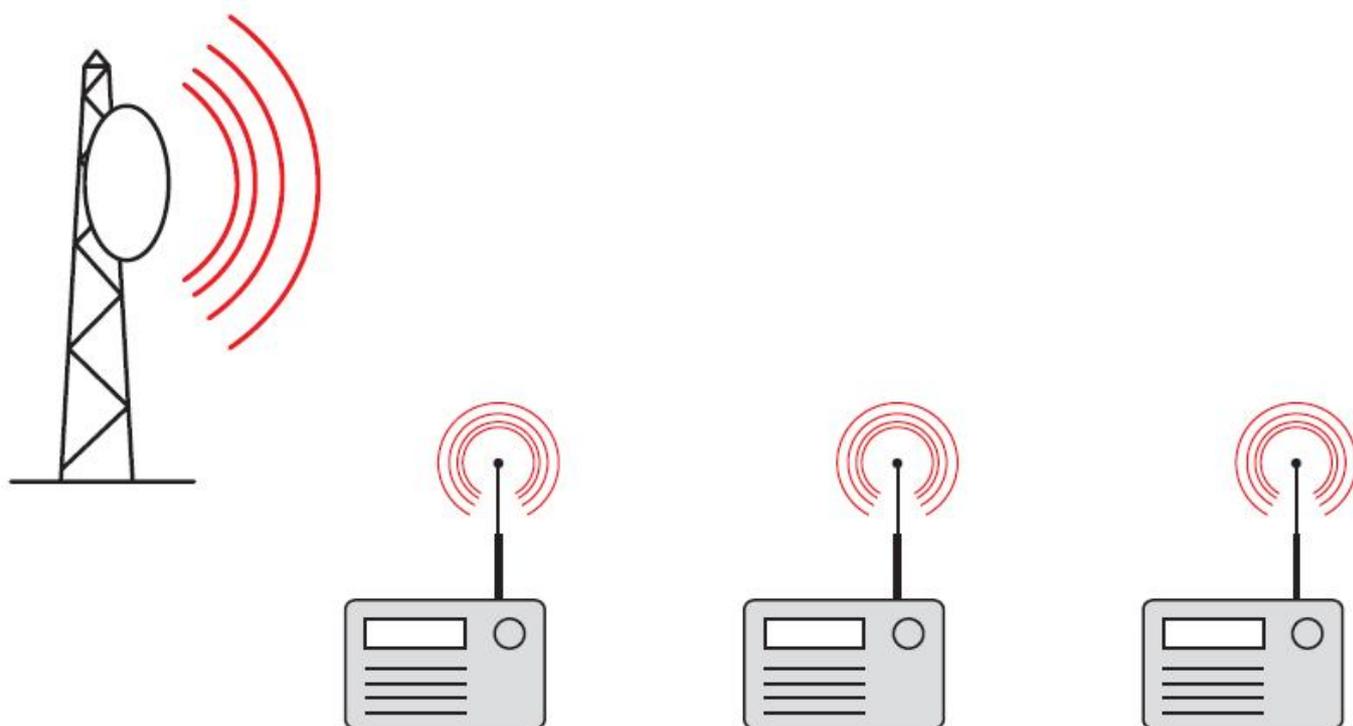


Рис. 8 Широковещательный принцип: один передает, а другие принимают

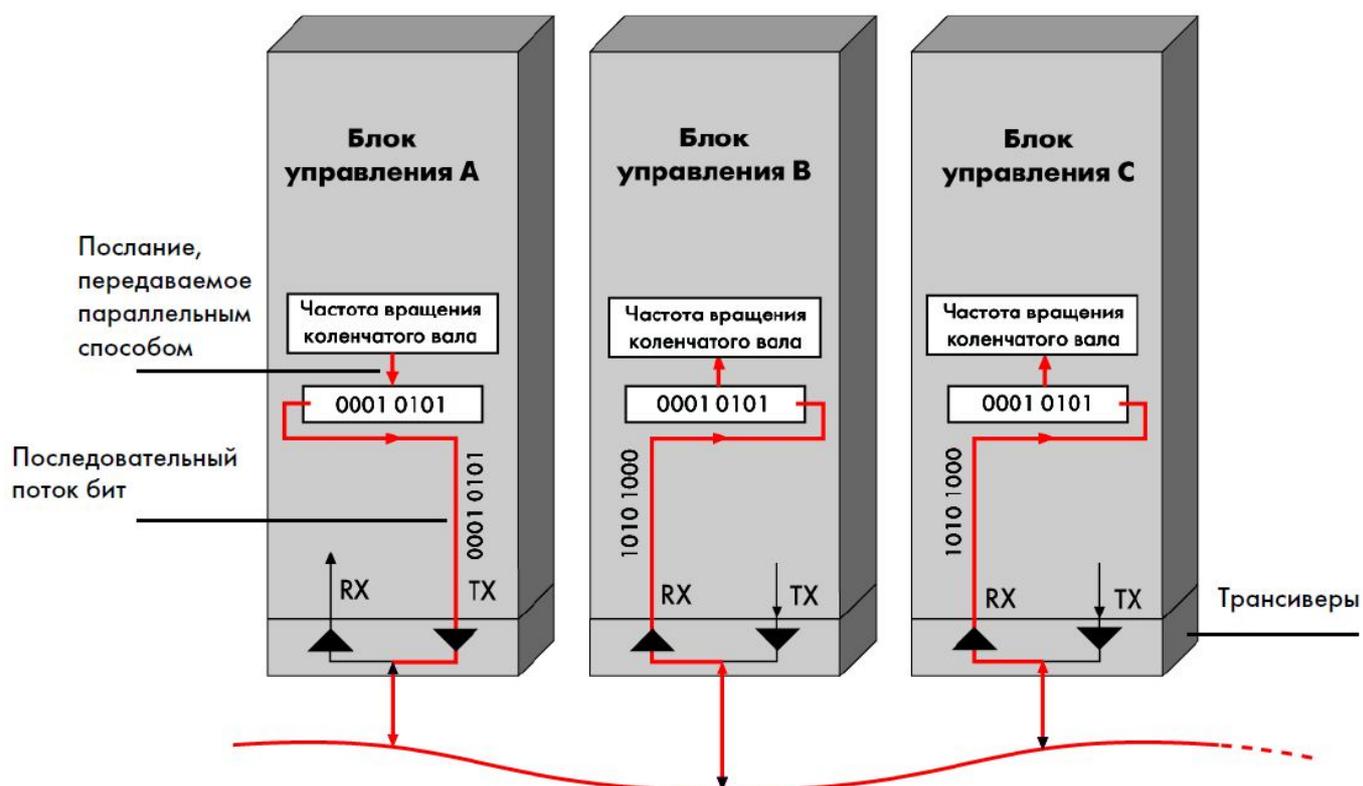


Рис. 9 Передача электрических сигналов: один передает, все принимают

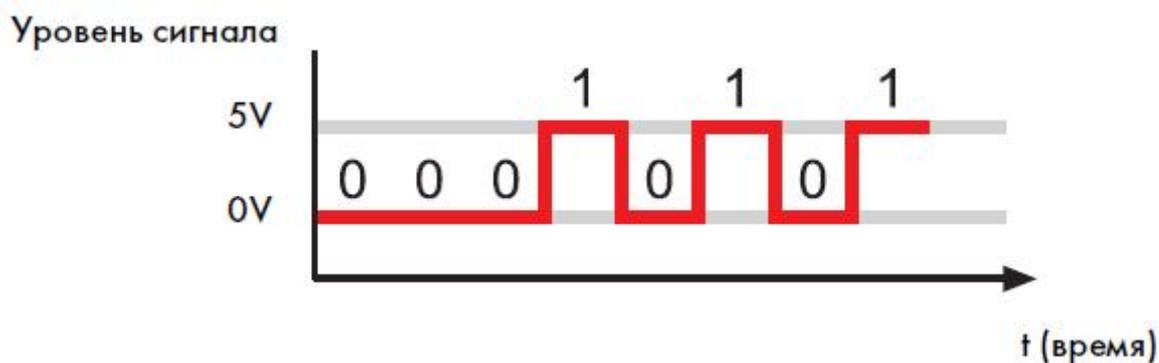


Рис. 10 Передача электрических сигналов по времени

## 7.4 Компоненты шины данных

### 7.4.1 Кабель "К"

Кабель "К" служит для подключения к системе диагностического прибора при проведении сервисного обслуживания автомобиля.

### 7.4.2 Блок управления

Блок управления принимает сигналы датчиков, обрабатывает их и передает соответствующие управляющие сигналы на исполнительные устройства. Наиболее существенными компонентами блока управления являются микроконтроллер с входными и выходными запоминающими устройствами и запоминающее устройство для хранения программного обеспечения.

Получаемые блоком управления сигналы датчиков, например, датчика температуры или датчика частоты вращения коленчатого вала регулярно вызываются и записываются последовательно во входном запоминающем устройстве. Протекание этого процесса в принципе подобно работе механического шагового механизма с круговым переключателем.

В микроконтроллере входные сигналы обрабатываются в соответствии с заложенными в нем программами. Выработанные в результате этой обработки сигналы направляются в ячейки выходного запоминающего устройства, откуда они поступают на соответствующие исполнительные устройства.

Для обработки посланий, поступающих с шины CAN и направляемых на нее, каждый блок управления снабжен дополнительным запоминающим устройством, в котором хранятся как поступающие, так и отправляемые послания.

#### **7.4.3 Модуль системы CAN**

Этот модуль служит для обмена данными посредством шины CAN.

Он разделен на две зоны: зону приема и зону передачи.

Модуль системы CAN связан с блоком управления через почтовые ящики для входящих и исходящих посланий. Обычно он встроен в чип микроконтроллера блока управления.

#### **7.4.4 Трансивер**

Трансивер представляет собою приемопередающее устройство, одновременно выполняющее функции усилителя (рис. 11). Он преобразует последовательность поступающих с модуля системы CAN двоичных сигналов (на логическом уровне) в электрические импульсы напряжения и наоборот. Таким образом посредством электрических импульсов можно передавать данные по медным проводам.

Связь трансивера с модулем системы CAN осуществляется посредством проводов **TX** (передающий провод) и **RX** (принимающий провод).

Провод **RX** соединен с шиной CAN через усилитель. Он позволяет постоянно "прослушивать" сигналы, передаваемые через шину.

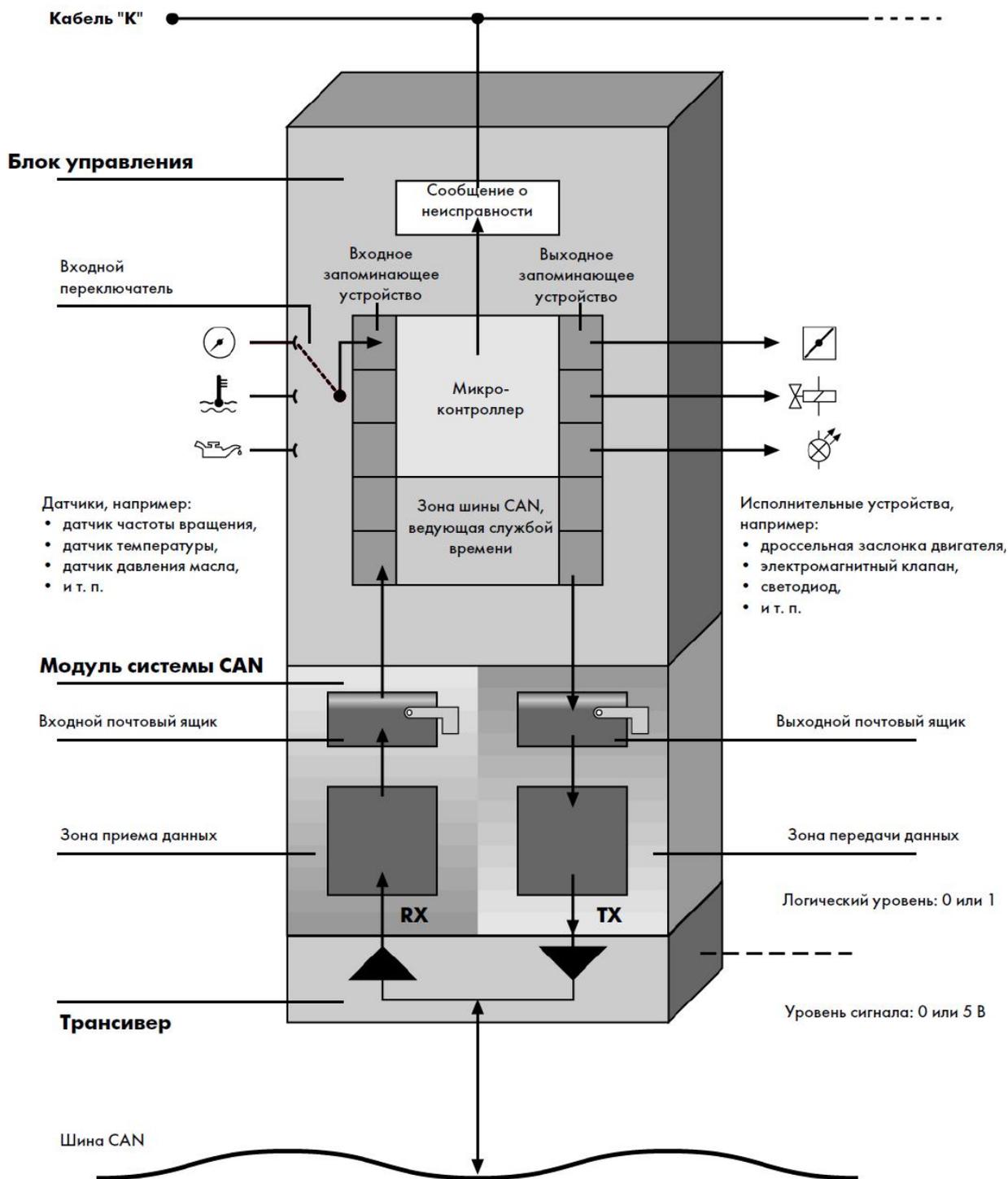


Рис. 11 Функциональные компоненты: блок управления, модуль системы CAN и трансивер

### 7.4.5 Особенности трансивера

Особенностью подключения провода **ТХ** к шине является соединение через каскад с открытым коллектором (рис. 12).

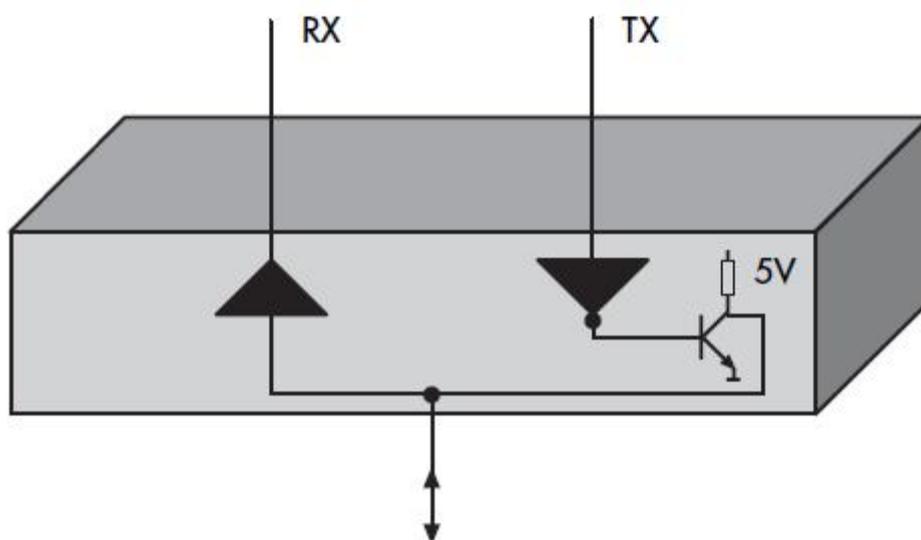


Рис. 12 Трансивер с подключенным проводом TX  
 Благодаря этому могут быть реализованы два состояния шины:  
 – **Состояние 1:** при этом транзистор закрыт (выключатель разомкнут) рис13;  
 т.е. **пассивное: уровень шины = 1**, провод шины соединен с источником тока через высокоомное сопротивление.



Рис. 13 Электрическая схема с выключателем

– **Состояние 0:** при этом транзистор открыт (выключатель замкнут);  
 т.е. **активное состояние: уровень шины = 0**, шина замкнута на "массу" через низкоомное сопротивление.

**Подключение трех трансиверов к проводу шины (рис. 14).**

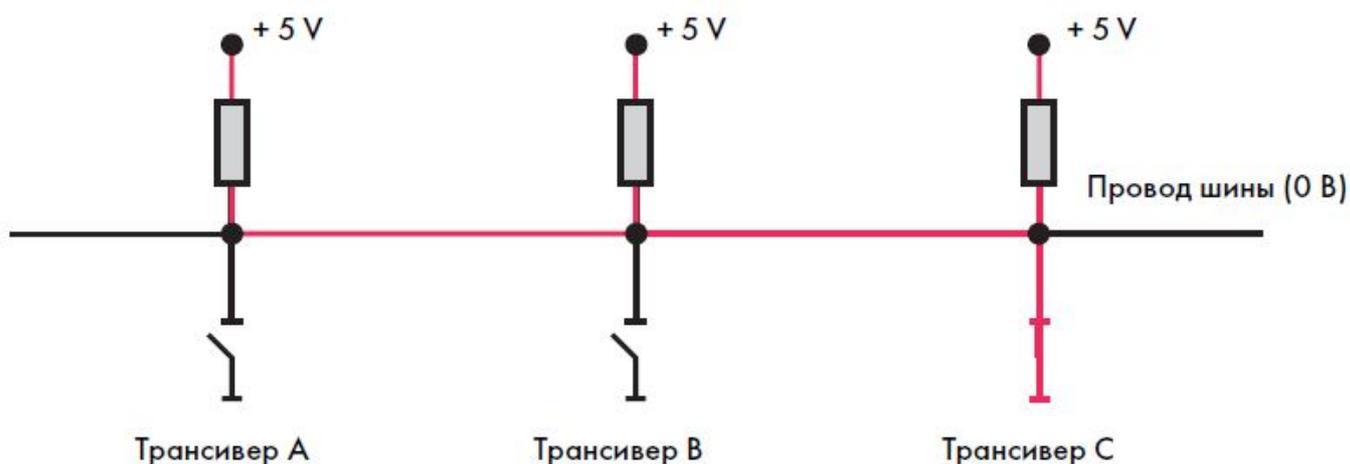


Рис.14 Подключение трех трансиверов к проводу шины (принципиальная схема), трансивер С находится в активном состоянии

При разомкнутом выключателе шина находится в состоянии логической единицы (она активна), при замкнутом выключателе шина находится в состоянии логического нуля (она пассивна).

В приведенном выше примере (с подключением к шине трех трансиверов) могут иметь место следующие состояния шины:

Таблица 1 – Свойства шины:

Трансивер А	Трансивер В	Трансивер С	Провод шины
1	1	1	1 (5В)
1	1	0	0 (0В)
1	0	1	0 (0В)
1	0	0	0 (0В)
0	1	1	0 (0В)
0	1	0	0 (0В)
0	0	1	0 (0В)
0	0	0	0 (0В)

Возможные состояния шины при подключении трех трансиверов к проводу шины, трансивер С находится в активном состоянии

- Если какой: либо выключатель замкнут, через сопротивления течет ток. При этом напряжение на проводе шины равно нулю.
- Если все выключатели разомкнуты, ток через сопротивления не течет и не создает на них падение напряжения. При этом напряжение на проводе шины равно 5 В.

**В результате получается следующее:**

Если шина находится в состоянии логической единицы (т.е. она пас-

сивна), любая подключенная к ней станция может привести ее в состояние логического нуля (т.е. в активное состояние).

**Пассивное состояние шины называют рецессивным, а активное состояние – доминантным.**

Эти зависимости проявляются в следующих случаях:

а) При передаче сигнала ошибки в передаче данных (сообщения об ошибках **Error-Frames**).

б) При распознавании одновременной передачи сигнала несколькими станциями.

## **7.5 Процесс передачи данных**

**Описание процесса передачи данных на примере измерения, передачи и индикации частоты вращения**

Ниже описан весь процесс передачи данных на примере измерения частоты вращения и ее вывода на тахометр. При этом раскрывается протекание процесса передачи данных по времени и объясняется взаимодействие модулей системы CAN с блоками управления.

Процесс начинается с измерения частоты вращения посредством датчика, соединенного с блоком управления двигателем.

Измеряемое значение периодически вводится во входное запоминающее устройство микроконтроллера.

Так как данные о моментальном значении частоты вращения должны поступать на другие блоки управления, например, на блок управления в комбинации приборов, для их передачи следует использовать шину CAN.

Поэтому информация о частоте вращения копируется в выходном запоминающем устройстве блока управления двигателем.

Из выходного запоминающего устройства информация поступает в выходной почтовый ящик модуля системы CAN. При поступлении актуальных данных в почтовый ящик вырабатывается специальный сигнал, символом которого является поднятый флаг.

Выдачей задания на передачу данных модулю системы CAN блок управления двигателем завершает выполнение данной функции.

Числовое значение частоты вращения преобразуется в специальное послание для передачи через шину CAN, составленное согласно протоколу.

***Важнейшими элементами протокола являются:***

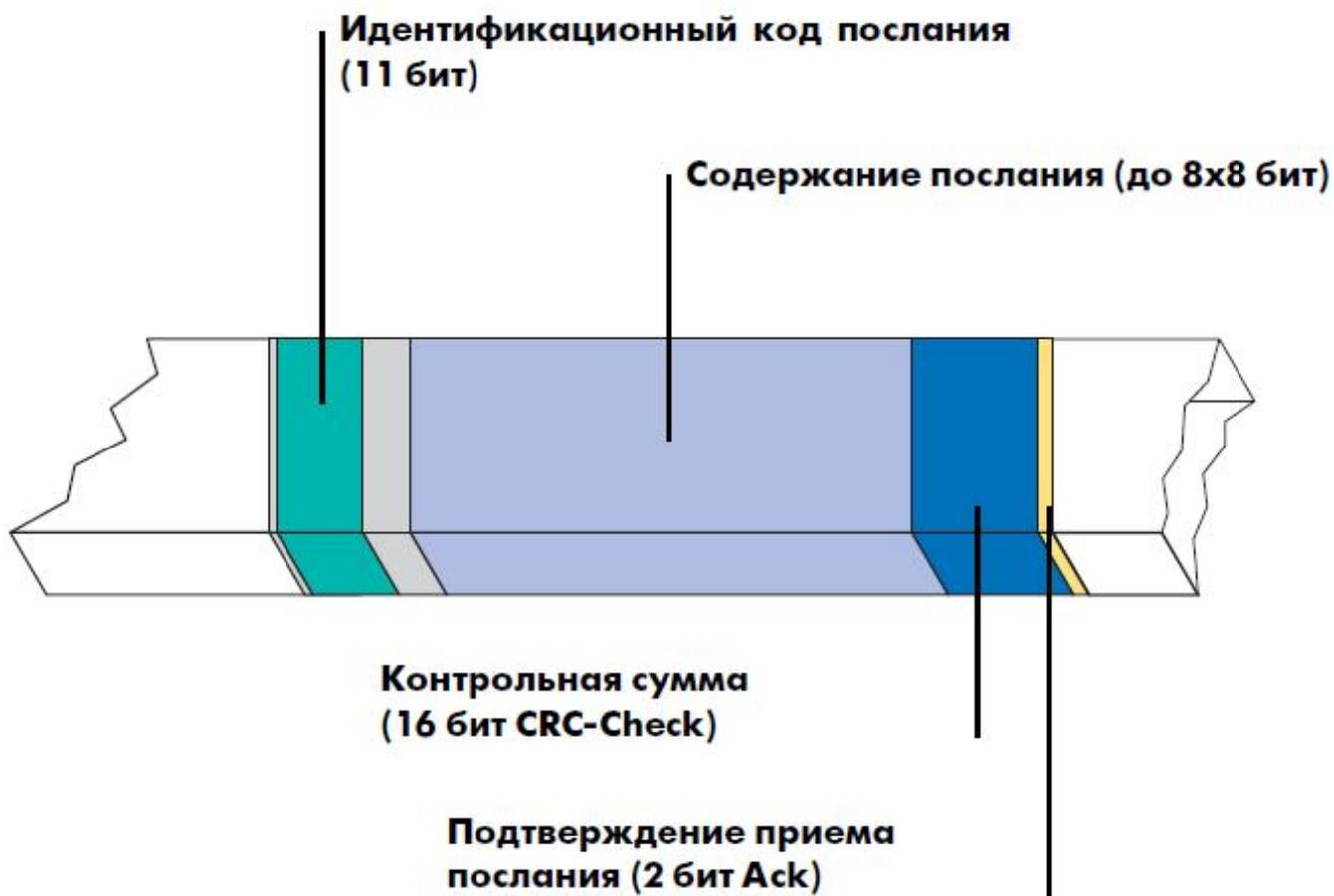
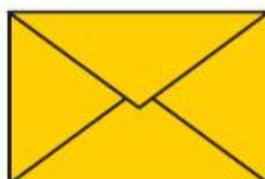


Рис.15 Структура послания, передаваемого через шину CAN



В дальнейшем передаваемые через шину CAN послания обозначаются символом почтового конверта

Например, элементами отправленного блоком управления двигателем послания могут быть: идентификационный код послания – Motor-1, содержание – Drehzahl.

В этом же послании могут содержаться другие данные, например, указания о холостом ходе, о передаче крутящего момента и о других режимах работы двигателя.

Модуль системы CAN, связанный с шиной через провод RX, проверяет, находится ли шина в активном состоянии (когда через нее передаются другие сообщения). При необходимости модуль выжидает, пока шина не освободится. При этом она должна в течение некоторого времени иметь логический уровень "1". После освобождения шины производится передача послания с данными о параметрах двигателя.

### 7.5.1 Процесс отправления послания

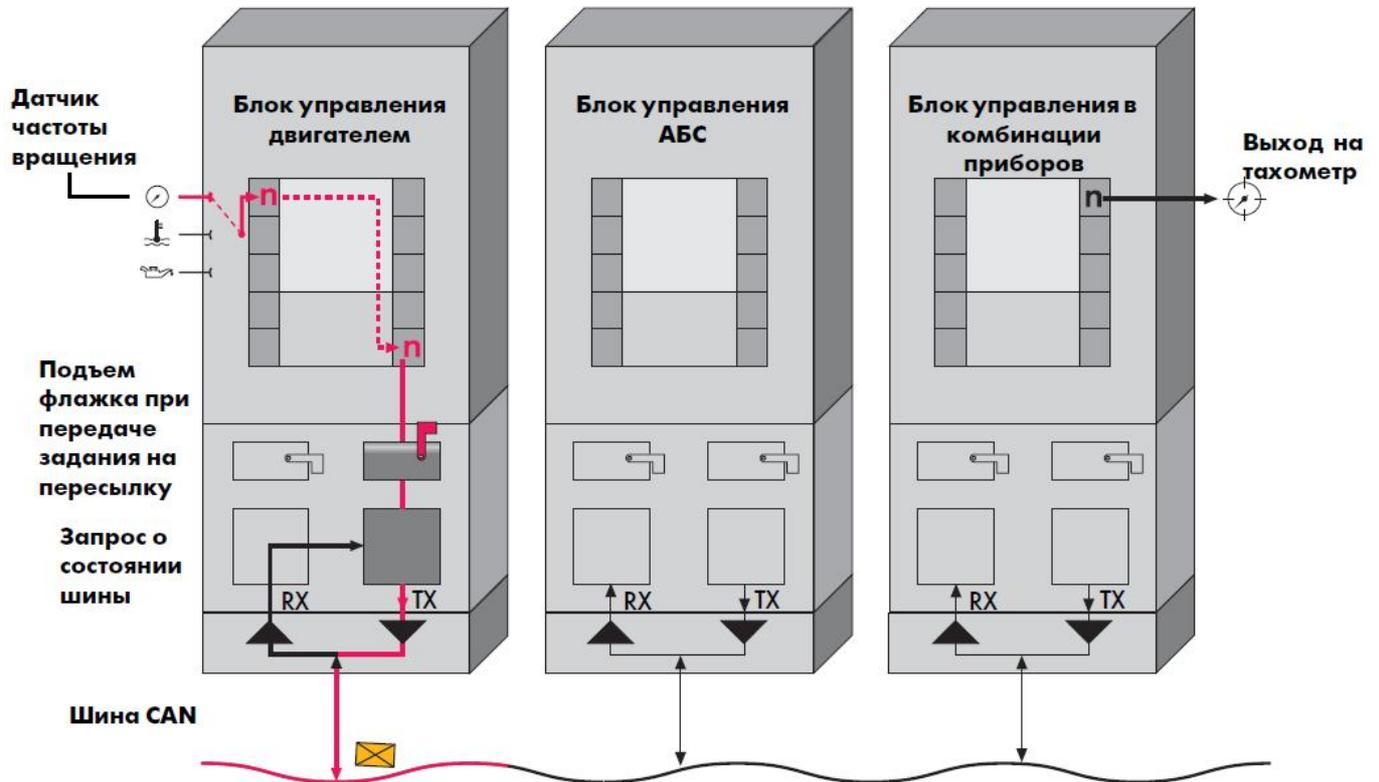


Рис.16 Запуск сеанса передачи данных

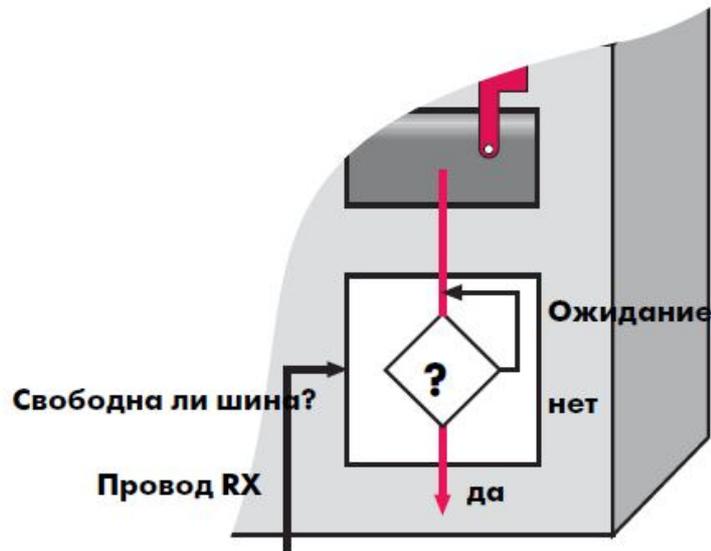


Рис.17 Фрагмент: схема запроса о состоянии шины

### 7.5.2 Процесс приема послания

Прием послания производится в два этапа:

- Этап 1 = проверка послания на содержание ошибок (на уровне контроля).
- Этап 2 = проверка пригодности послания (на уровне признания).

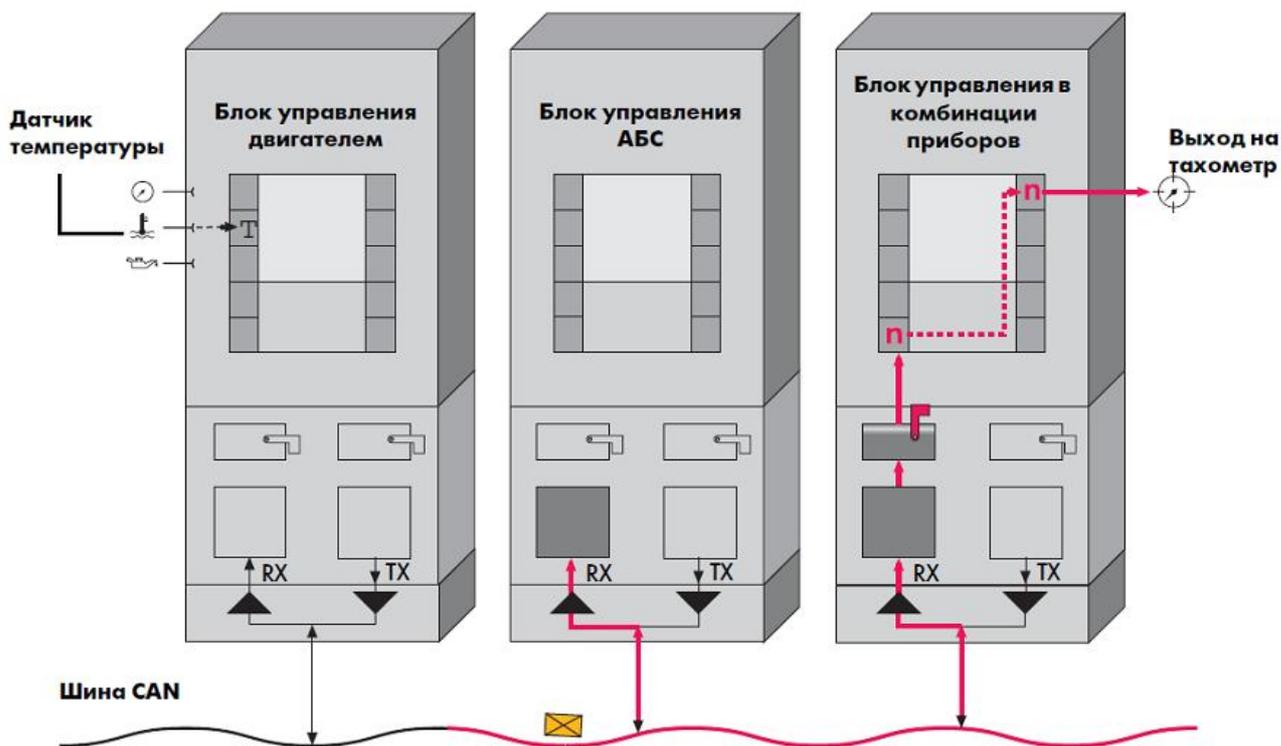


Рис. 18 Процесс приема послания

Все подключенные к шине станции получают послание, отправленное блоком управления двигателем.

Это послание поступает в зоны приема соответствующих модулей системы CAN через провода RX.

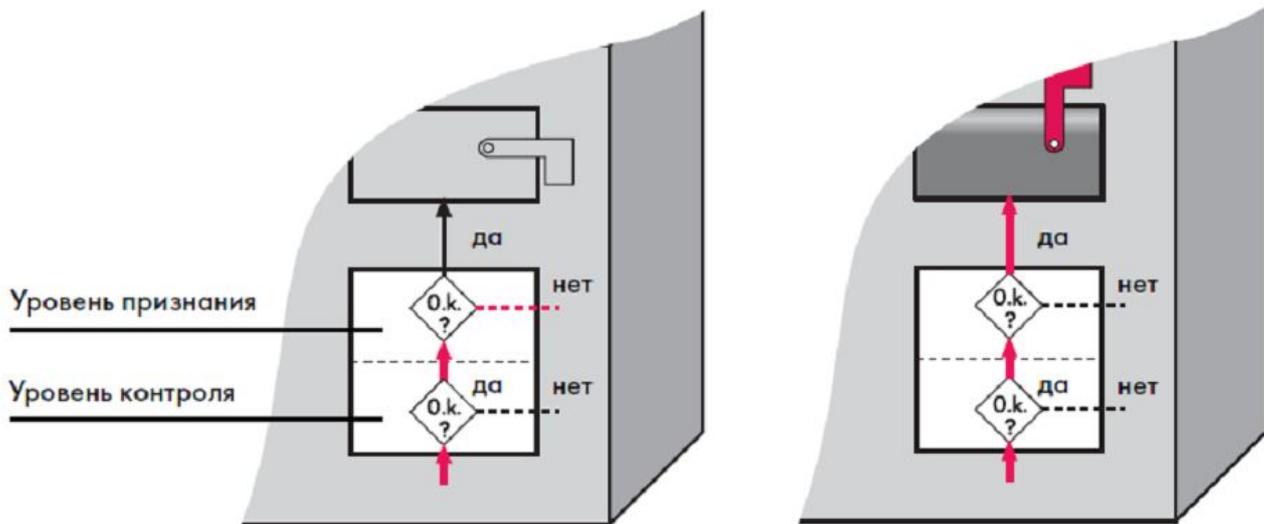


Рис.19 Фрагмент: зона приема, уровни контроля и признания

Все получатели принимают послание с данными о параметрах двигателя и проверяют его на наличие ошибок на уровне контроля. При этом распознаются локальные нарушения в процессе передачи данных, которые могут возникнуть, например, только в одном блоке управления. Благодаря этому обеспечивается высокая плотность потока передаваемой информации.

Все подключенные к шине станции получают послание от блока

управления двигателем (по принципу широковещательной трансляции). После этого они могут определить на контрольном уровне по сумме **CRC** (Cycling Redundancy Check), нет ли в послании ошибок передачи. При передаче каждого послания формируется и передается контрольная сумма размером 16 бит, которая несет информацию о всем объеме информации.

Абоненты пересчитывают контрольную сумму по тем же правилам, по которым она была образована. В заключение полученная контрольная сумма сравнивается с рассчитанной суммой.

Если ошибки не обнаружено, все станции направляют передатчику уведомление в получении послания, которое называется **Acknowledge** и следует за контрольной суммой (рис. 20).



Рис.20 Поток информации, подтверждение, почтовый штампель

Затем корректно принятое послание переводится на так называемый уровень признания данного модуля системы CAN.

- На этом уровне определяется возможность использования послания для конкретного блока управления.
- Если получен отрицательный ответ, послание отбрасывается.
- При положительном ответе послание направляется в соответствующий входной почтовый ящик.

По поднятому "приемному флажку" подключенный к шине блок управления в комбинации приборов "узнает" о поступлении нужного послания. В данном случае это данные о частоте вращения, которые подлежат обработке.

Комбинация приборов вызывает это послание и копирует соответствующее значение во входном запоминающем устройстве.

На этом передача и прием посланий посредством шины CAN заканчивается.

- В комбинации приборов данные о частоте вращения подвергаются обработке и направляются затем на тахометр.
- Передача данных в виде посланий постоянно повторяется с заданной периодичностью циклов (например, каждые 10 мс).

### 7.5.3 Исключение наложений посланий от нескольких блоков

## управления

Если несколько блоков управления пытаются одновременно отправить послания, при прочих равных условиях невозможно избежать накладки передаваемых данных. Чтобы исключить накладу, шина CAN действует в соответствии с описанной ниже стратегией.

Каждый из активных блоков управления начинает процесс передачи данных с ввода идентификатора.

Все блоки управления следят за состоянием шины, считывая с нее данные через провод RX.

Каждый из блоков управления сравнивает бит за битом сигналы, передаваемые через провод TX с сигналами, передаваемыми через провод RX. При этом могут быть обнаружены определенные расхождения.

В соответствии с принятой для шины CAN стратегией ситуация регулируется следующим образом: **блок управления, сигнал которого на проводе TX обнуляется, должен прервать передачу данных через шину.**

**Число нулей в головной части идентификатора определяет ранг приоритета послания.**

Передача посланий производится в порядке, соответствующем их рангу.

При этом действует правило: **чем меньше число, обозначающее идентификатор, тем важнее послание.**

**Этот способ оценки называют арбитражем.** Этот термин является производным от слова арбитр или спортивный судья.

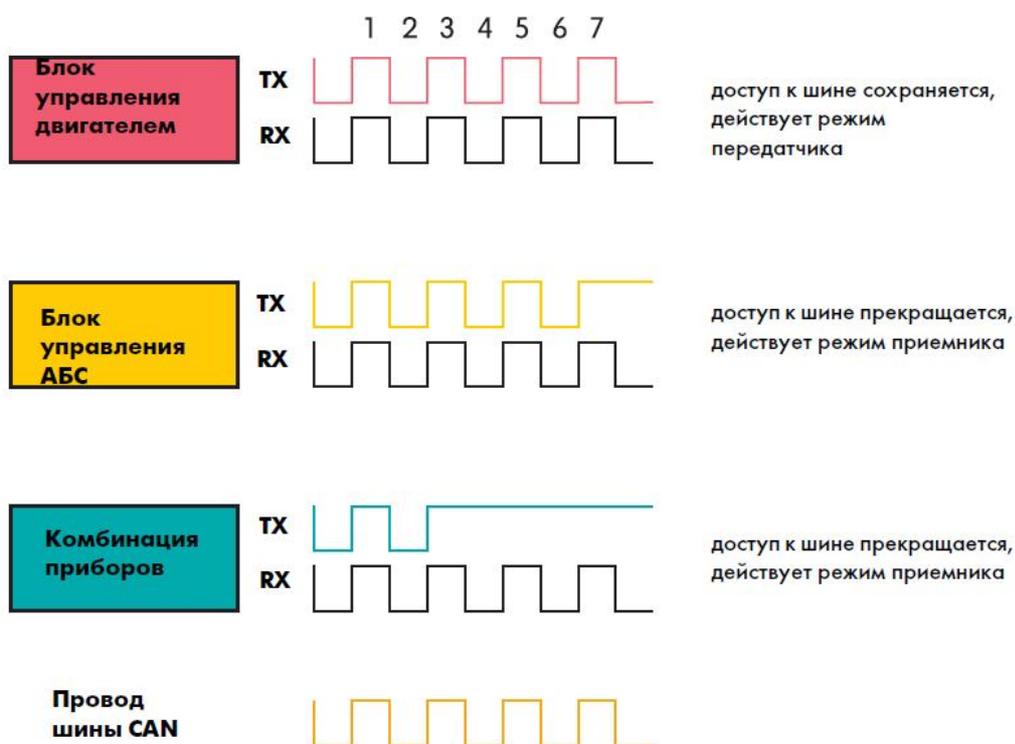


Рис.21 Процесс арбитражного разбора, исключающий накладу посланий

На следующем примере демонстрируется наивысший приоритет дат-

чика поворота рулевого колеса, благодаря которому вырабатываемые им данные отправляются в первую очередь.

**Пояснение:** послание с датчика поворота рулевого колеса, сопровождаемое идентификатором, обозначаемым наименьшим числом (с наибольшим числом нулей в его начале), отправляется в первую очередь.

<b>Идентификатор</b>	<b>двоичный</b>	<b>шестнадцатеричный</b>
Двигатель	010_1000_0000	280
Тормозная система	010_1010_0000	1A0
Комб-ция приборов	011_0010_0000	320
Д. угла пов. рул. к-а	000_1100_0000	0C2
Коробка передач	100_0100_0000	440

Рис.22 Идентификаторы, используемые в системе CAN силового агрегата  
**Заключение по разделу о передаче сигналов датчиков (например, датчика частоты вращения коленчатого вала)**

Передача данных через шину CAN достаточно надежна. В результате распознаются практически все помехи, возникающие, например, из-за нарушений в электрических цепях или разрывов в системе CAN.

- Данные о частоте вращения 1800 об/мин передаются абсолютно точно или из-за помех вообще не выводятся на тахометр.

- Если, например, выводятся какие-либо неприемлемые значения частоты вращения, неисправность следует искать не в системе CAN, а в датчике, в тахометре или в соединительных проводах.

## **7.6 Надежность передачи данных, помехоустойчивость**

### **7.6.1 Внутренняя защита от помех**

Чтобы надежно защитить систему от ошибок, в ней предусмотрен комплекс специальных средств.

Эти средства обеспечивают высокую надежность распознавания ошибок при передаче данных. При этом могут быть приняты соответствующие меры.

Доля нераспознанных ошибок, т.е. вероятность их остатка не превышает 10-12.

Эта величина соответствует четырем ошибкам за весь срок службы автомобиля.

Широковещательный способ передачи данных (когда один участник передает данные, а все остальные их принимают) позволяет передавать без промедления сообщение об обнаруженной одним участником ошибке другим участникам. Для этого используется так называемый фрейм оши-

бок (**Error-Frame**).

При обнаружении ошибки все участники отбрасывают текущее послание.

Затем автоматически производится повторение передачи данных. Этот процесс рассматривается как обычное явление при эксплуатации автомобиля, так как помехи передаче данных постоянно возникают, например, вследствие сильных колебаний напряжения в бортовой сети при пуске двигателя или под действием внешних источников.

Ситуация может, однако, оказаться критической из-за учащенного повторения передачи данных при постоянном распознавании ошибок.

Поэтому каждая станция оснащена встроенным в нее счетчиком ошибок, который суммирует их число, а при удачной передаче данных соответственно уменьшает суммарное значение (рис. 23).

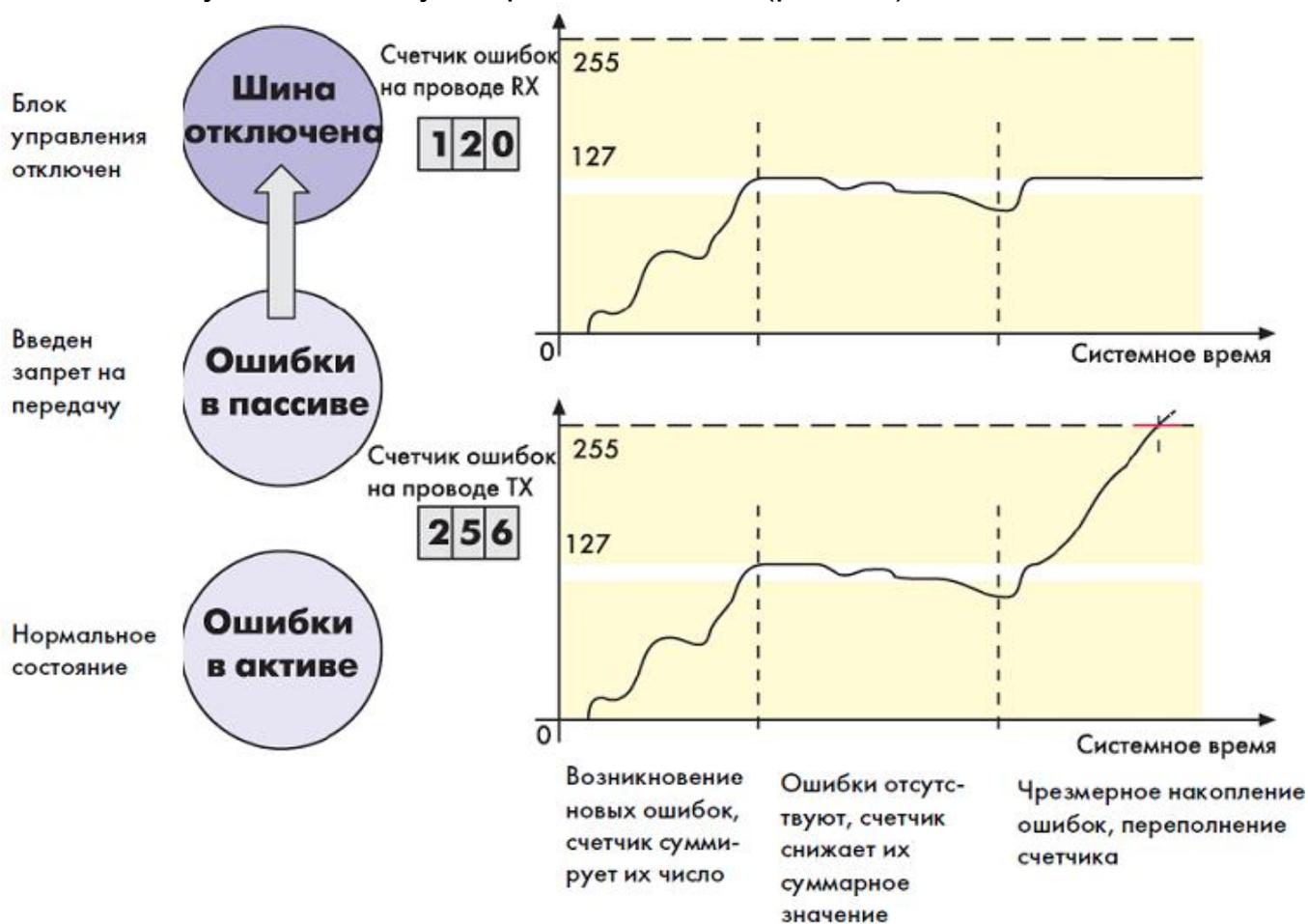


Рис. 23 Встроенный счетчик ошибок

Встроенный счетчик ошибок служит только для внутренней защиты от помех и не контролируется извне.

После двукратного отключения шины (при отсутствии коммуникации между отключениями) делается соответствующая запись в регистраторе неисправностей.

По прошествии установленного времени выжидания (**около 0,2 с**) производится попытка нового подключения блока управления к шине.

В дальнейшем попытки подключения периодически повторяются через определенные промежутки времени.

Таким образом достигается своевременная передача посланий.

Если все же произошла задержка в получении **более десяти посланий**, включается так называемая блокировка по времени (тайм-аут в передаче посланий).

После этого так же делается запись в регистраторе неисправностей принимающего блока управления.

Так действует второй механизм защиты от помех. При проведении диагностики на станции обслуживания автомобилей могут быть получены следующие сообщения:

1. Шина данных неисправна.

В соответствующем блоке управления обнаружена существенная неисправность.

Блок управления был не менее двух раз отключен от шины (Bus-Off).

2. Не принимаются послания от ... или нет связи с соответствующим блоком управления.

Послания принимаются с задержкой. Включена блокировка по времени (тайм-аут).

### **7.6.2 Повышение надежности передачи данных**

Чтобы повысить надежность передачи данных, в шинах CAN применяется упомянутый выше способ дифференциальной передачи сигналов по двум проводам (Twisted Pair). Образующие эту пару провода называются CAN-High и CAN-Low.

### **7.6.3 Изменения напряжений на проводах шины CAN силового агрегата при переходах доминантного состояния в рецессивное и наоборот**

В исходном состоянии шины на обоих проводах поддерживается постоянное напряжение на определенном базовом уровне. У шины CAN силового агрегата это напряжение равно приблизительно 2,5 В.

При нахождении напряжения на базовом уровне говорят о рецессивном состоянии, так как оно может быть изменено любым подключенным к ней блоком управления.

При переходе в доминантное состояние напряжение на проводе High повышается на определенную величину, которая в данном случае равна не менее 1 В. При этом напряжение на проводе Low снижается также на определенную величину, которая в данном случае составляет не менее 1 В. Таким образом при переходе шины CAN в активное состояние напряжение на проводе High достигает **3,5 В ( $2,5 \text{ В} + 1 \text{ В} = 3,5 \text{ В}$ )**, а на проводе Low оно понижается **до 1,5 В ( $2,5 \text{ В} - 1 \text{ В} = 1,5 \text{ В}$ )**.

При нахождении шины CAN в рецессивном состоянии разность напряжений на ее проводах **равно нулю**, а при ее нахождении в доминантном состоянии разность напряжений на проводах шины составляет **не ме-**

нее 2 В.

В доминантном состоянии напряжение на проводе High шины CAN повышается до 3,5 В

В рецессивном состоянии напряжение на **обоих** проводах равно 2,5 В (Уровень покоя)

В доминантном состоянии напряжение на проводе Low шины CAN падает до 1,5 В

#### 7.6.4 Преобразование в трансивере сигналов, передаваемых по проводам High и Low шины CAN

Рассмотрим принцип действия трансивера на примере шины CAN силового агрегата.

Каждый из блоков управления подсоединен к шине CAN силового агрегата посредством отдельного трансивера. В трансивере имеется приемник сигналов. Этот приемник представляет собою дифференциальный усилитель, установленный на входе трансивера.

В дифференциальном усилителе производится обработка сигналов, поступающих по проводам High и Low. Далее обработанные сигналы направляются на вход блока управления. Эти сигналы **представляют собою напряжение на выходе** дифференциального усилителя.

Дифференциальный усилитель (рис.25) формирует это выходное напряжение как разность между напряжениями  $U_{CAN-High}$  и  $U_{CAN-Low}$  на проводах High и Low шины CAN. Таким образом исключается влияние величины базового напряжения (у шины CAN силового агрегата оно равно 2,5 В) или какого-либо напряжения, вызванного, например, внешними помехами.

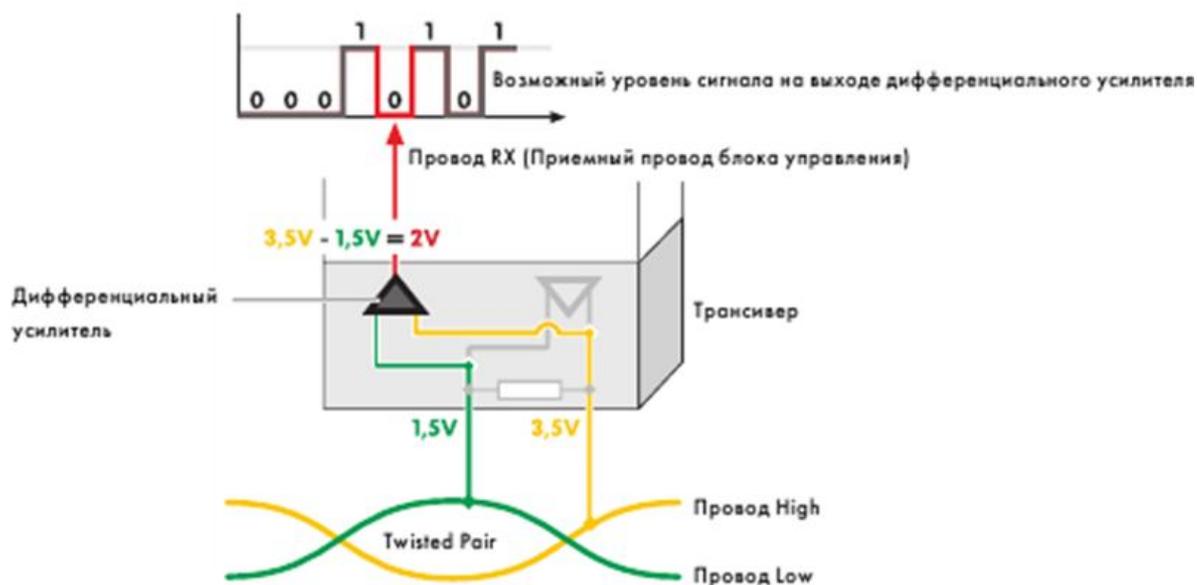


Рис.24 Преобразования сигнала в дифференциальном усилителе шины CAN силового агрегата

При обработке сигналов в дифференциальном усилителе трансивера

образуется разность напряжений, действующих одновременно на проводах High и Low (рис. 25).

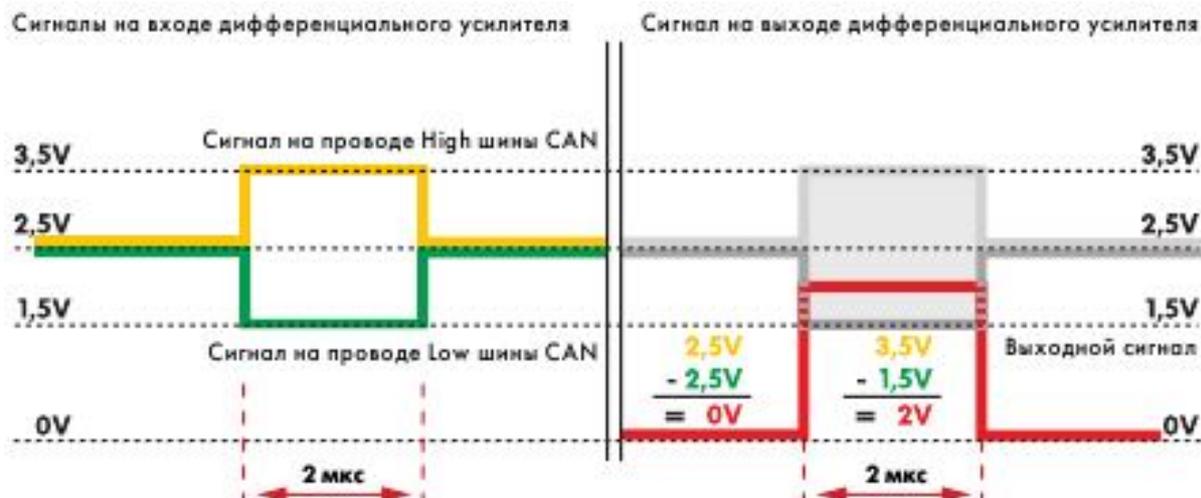


Рис.25 Обработка сигналов в дифференциальном усилителе шины CAN силового агрегата

В противоположность шине CAN силового агрегата у шины CAN системы "Комфорт" и информационно-командной системы применен более совершенный дифференциальный усилитель. Чтобы обеспечить "однопроводную" передачу данных, этот усилитель дополнительно производит обработку отдельных сигналов, поступающих с проводов High и Low.

### 7.6.5 Фильтрация помех в дифференциальном усилителе шины CAN силового агрегата

Провода шины частично проложены в подкапотном пространстве, где на них могут возникать различные помехи. Причинами помех могут быть короткие замыкания на "массу" и на "+" батареи, а также пробой в системе зажигания и разряды статического электричества при проведении технического обслуживания.

Влияние помех исключается таким образом в результате обработки сигналов, передаваемых на вход дифференциального усилителя по проводам High и Low шины CAN. Это называют техникой дифференциальной передачи данных. Другим преимуществом этой техники является надежность передачи данных на отдельные блоки управления при колебаниях напряжения в бортовой сети (например, при пуске двигателя).

Принцип действия шины при передаче данных этим способом проиллюстрирован расположенным выше рис. 27.

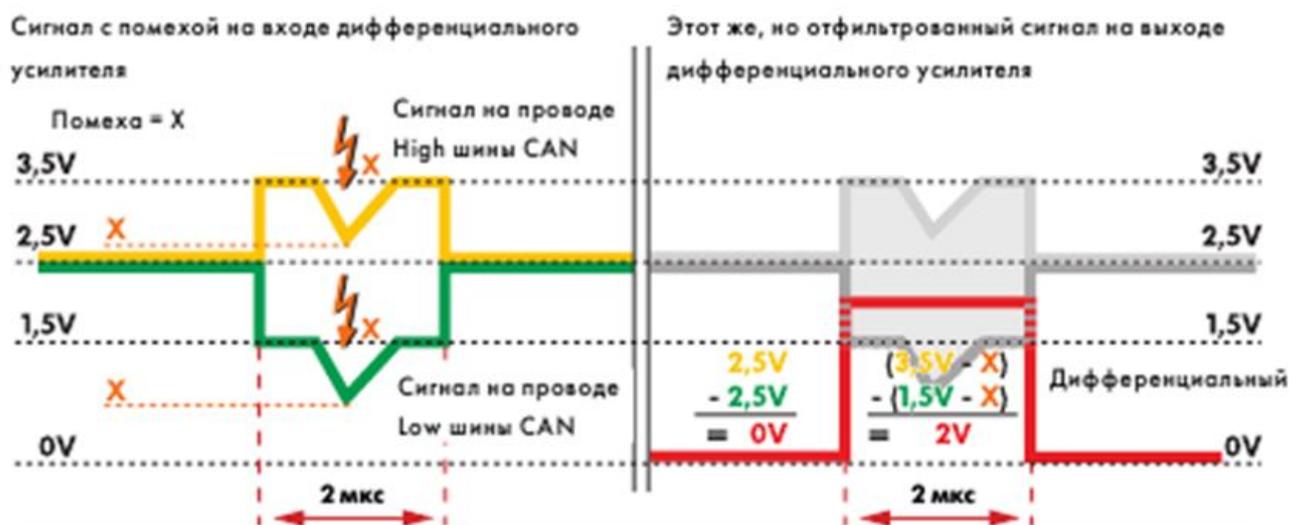


Рис. 27 Фильтрация помех в дифференциальном усилителе на примере шины CAN силового агрегата

Благодаря прокладке проводов шины High и Low с перекручиванием между собой, вызывающий помеху импульс X оказывает на них одинаковое воздействие.

Так как в дифференциальном усилителе напряжение на проводе Low ( $1,5\text{ В} - X$ ) вычитается из напряжения на проводе High ( $3,5\text{ В} - X$ ), в обработанном сигнале помеха отсутствует.

$$(3,5\text{В} - X) - (1,5\text{В} - X) = 2\text{В}$$

#### 7.6.6 Уровень сигнала

##### Усиление сигналов блока управления в трансивере

Передаваемые каким-либо блоком управления сигналы должны усиливаться в трансивере до уровня, на который рассчитаны приемные устройства всех других блоков управления, подключенных к шине CAN.

Подключенные к шине CAN блоки управления имеют определенные входные сопротивления, которые образуют нагрузку на провода шины. Суммарная нагрузка зависит от числа подключенных к шине блоков управления и от их входных сопротивлений.

Например, подключенный к шине CAN силового агрегата блок управления двигателем создает нагрузку 66 Ом, включенную между проводами High и Low. Другие блоки управления нагружают шину сопротивлениями по 2,6 кОм каждый (рис. 28).

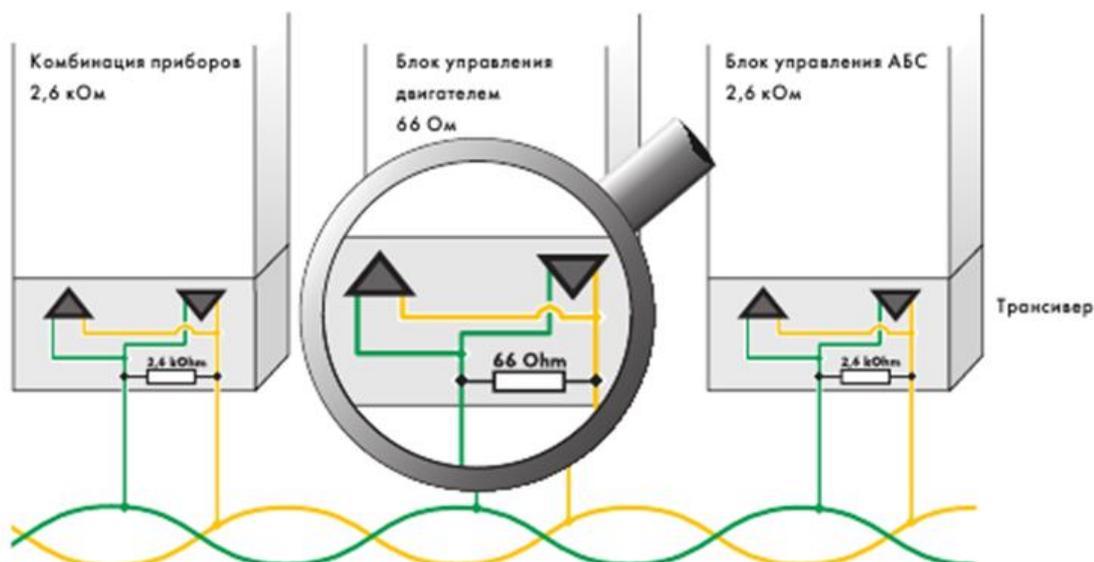


Рис. 28 Нагрузочные сопротивления на проводах High и Low шины CAN

В зависимости от числа подключенных блоков управления нагрузка на шину может составлять от 53 до 66 Ом. Отключив клемму 15 (зажигание) от источника питания, это сопротивление можно измерить с помощью омметра.

Трансивер служит для передачи сигналов на оба провода шины CAN. При этом увеличение напряжения на проводе High численно равно его понижению на проводе Low. Изменение напряжения на каждом проводе шины CAN силового агрегата составляет не менее 1 В, а на каждом проводе шины CAN системы "Комфорт" и информационно-командной системы – не менее 3,6 В.

### 7.6.7 Особенности шин CAN, используемых на автомобилях концерна VW

В отличие от первоначально примененной шины с двумя концевыми сопротивлениями, на автомобилях концерна **VW** используются шины с распределенными нагрузочными сопротивлениями, из которых "центральное сопротивление" находится в блоке управления двигателем, а периферийные высокоомные сопротивления расположены в прочих блоках управления. При этом возникают сильные отраженные сигналы, но при небольшой длине проводов шины в легковом автомобиле они не оказывают отрицательного действия на передачу данных. Установленные стандартом на шины CAN допустимые длины проводов не могут быть, однако, принятыми для используемой на автомобилях VW шины CAN силового агрегата ввиду действующих в ней отражений.

Особенностью шины CAN системы "Комфорт" и измерительно-командной системы является подключение нагрузочных сопротивлений не между проводами High и Low, а между каждым проводом в отдельности и "массой" или проводом, находящимся под напряжением 5 В. При выключении питания происходит отключение нагрузочных сопротивлений от этой

шины, поэтому их нельзя измерить с помощью омметра.

**Внимание:**

При проведении измерений не допускается удлинение проводов шины CAN силового агрегата более чем на 5 м.

**Свойства и особенности шины CAN силового агрегата**

Шина CAN силового агрегата, передающая данные со скоростью 500 кбит/с, связывает все обслуживающие этот агрегат блоки управления.

**Например, к шине CAN силового агрегата могут быть подключены следующие приборы:**

- блок управления двигателем,
- блок управления АБС,
- блок управления системой курсовой стабилизации,
- блок управления коробкой передач,
- блок управления подушками безопасности,
- комбинация приборов.

Шина CAN силового агрегата выполнена как все подобные шины по двухпроводной схеме. Она работает с тактовой частотой 500 кбит/с. Поэтому ее относят к быстродействующим шинам. По проводам High и Low шины CAN силового агрегата производится обмен данными между подключенными к ней блоками управления.

Блоки управления посылают повторяющиеся блоки данных с определенным периодом, обычно равным 10-25 мс.

Подключение шины CAN силового агрегата к питанию производится через клемму 15 (зажигание), а ее полное отключение происходит с некоторой задержкой после выключения зажигания.

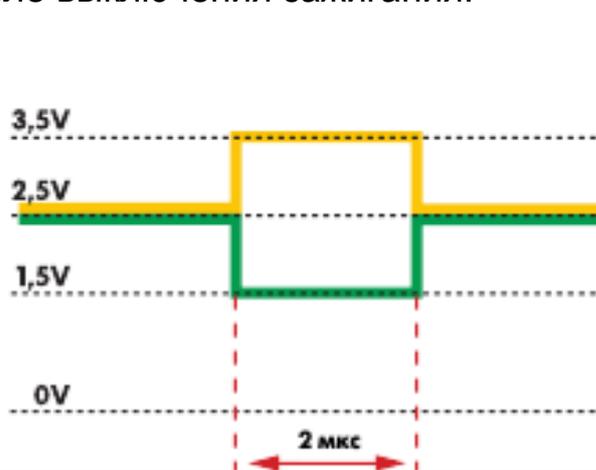


Рис. 28 Форма сигнала, проходящего по проводам шины CAN силового агрегата

**В доминантном состоянии напряжение на проводе High шины CAN повышается до 3,5 В**

**В рецессивном состоянии напряжение на обоих проводах равно 2,5 В (Уровень покоя)**

**В доминантном состоянии напряжение на проводе Low шины CAN**

падает до 1,5 В

### 7.6.8 Диагностика неисправностей CAN-шины

Диагностика неисправностей CAN-шины производится с помощью специализированной диагностической аппаратуры (анализаторы CAN-шины) осциллографа (в том числе, со встроенным анализатором шины CAN) и цифрового мультиметра.

Как правило, работы по проверке работы CAN-шины начинают с измерения сопротивления между проводами шины. Необходимо иметь в виду, что CAN-шины системы "Комфорт" и информационно-командной системы, в отличие от шины силового агрегата, постоянно находятся под напряжением, поэтому для их проверки следует отключить одну из клемм аккумуляторной батареи.

Основные неисправности CAN-шины в основном связаны с замыканием/обрывом линий (или нагрузочных резисторов на них), снижением уровня сигналов на шине, нарушениями в логике ее работы. В последнем случае поиск дефекта может обеспечить только анализатор CAN-шины.

#### **CAN-шины современного автомобиля**

<b>CAN шина силового агрегата</b>
Электронный блок управления двигателя
Электронный блок управления КПП
Блок управления подушками безопасности
Электронный блок управления АБС
Блок управления электроусилителя руля
Блок управления ТНВД
Центральный монтажный блок
Электронный замок зажигания
Датчик угла поворота рулевого колеса
<b>CAN-шина системы "Комфорт"</b>
Комбинация приборов
Электронные блоки дверей
Электронный блок контроля парковочной системы
Блок управления системы "Комфорт"
Блок управления стеклоочистителей
Контроль давления в шинах
<b>CAN-шина информационно-командной системы</b>
Комбинация приборов
Система звуковоспроизведения
Информационная система

