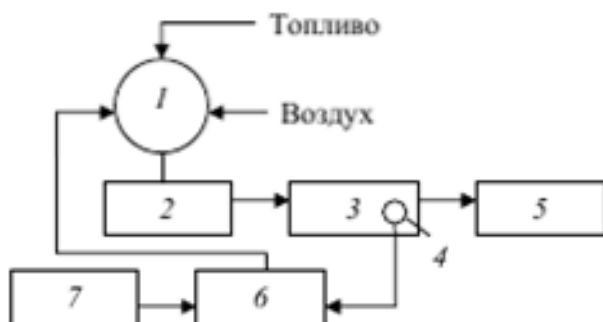


Электронные системы автоматического управления (ЭСАУ) двигателей с искровым зажиганием.

В электронных системах оптимального управления впрыском топлива реализуется **принцип работы следящей системы автоматического управления с обратной связью**. В процессе управления контролируется результат воздействия управляющих сигналов и, если результат отклоняется от требуемого значения параметра, управляющее воздействие корректируется (это делается непрерывно до ввода системы в требуемый оптимальный режим). Как и в любой следящей системе, процесс управления носит **колебательный характер**. Практически из трех желаемых параметров (тяговые характеристики автомобиля, расход топлива, токсичность отработавших газов) оптимизировать можно только один. Так для улучшения тягово-скоростной характеристики увеличивают топливopодачу (обогащают рабочую смесь), в то время как для уменьшения расхода топлива требуется обеднение рабочей смеси. Токсичность отработавших газов уменьшается приготовлением рабочей смеси в определенном соотношении ее химических составляющих.

Попыткой удовлетворить современные требования к экологическим характеристикам

автомобилей является внедрение **программно-адаптивных систем топливopодачи**, когда обратная связь осуществляется путем контроля химического



состава отработавших газов

- 1 – дозирующее устройство; 2 – двигатель; 3 – выпускной тракт;
4 – датчик кислорода; 5 – нейтрализатор; 6 – схема сравнения;
7 – датчик опорного напряжения

Дозирующее устройство 1 двигателя 2 приготавливает рабочую смесь, в которой обеспечивается ее стехиометрический состав. Если состав смеси отличается от требуемого, то датчик кислорода 4 (λ -зонд), установленный в выпускном тракте 3 двигателя 2, вырабатывает соответствующий электрический сигнал, который подается в электронную схему сравнения 6. В эту же схему поступает сигнал от датчика опорного напряжения 7, соответствующего тому, которое

должен формировать датчик кислорода 4, если состав отработавших газов соответствует по токсичности требуемым нормативам. В противном случае схема сравнения вырабатывает сигнал рассогласования, отличный от нуля, которым корректируется работа дозирующего устройства. Окончательная очистка отработавших газов от таких составляющих, как CO, CH, NO_x, производится каталитическим нейтрализатором 5. С помощью датчиков температуры и давления корректируется длительность управляющего импульса дозирования топлива.

Рабочие функции.

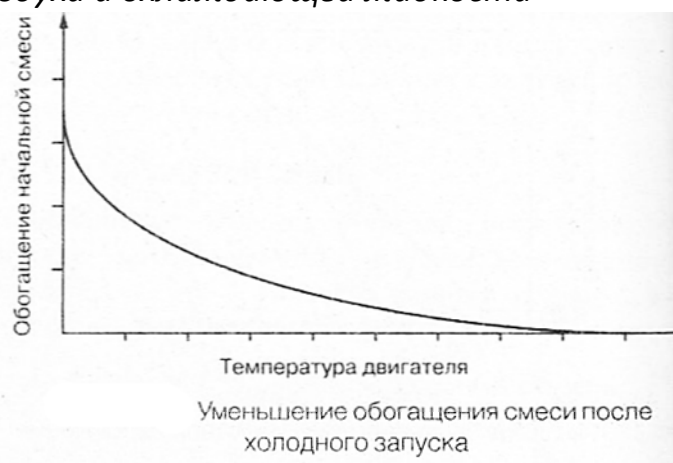
Фаза запуска. Вход в фазу запуска происходит сразу же, как только ECU получает сигнал от датчика частоты вращения коленчатого вала. Момент зажигания определяется в соответствии со скоростью двигателя и температурой охлаждающей жидкости. ECU активирует инжекторы четыре раза за цикл (дважды за один оборот коленчатого вала) чтобы получить наиболее однородную смесь и избежать забрызгивания свечей в течение фазы запуска.

Фаза обогащения после запуска.

Фаза обогащения смеси после запуска необходима, чтобы избежать остановки двигателя после старта. Степень обогащения определяется температурой охлаждающей жидкости и температурой воздуха и постепенно уменьшается под контролем ECU.

Если двигатель холодный или его температура средняя, смесь является *функцией температуры хладагента*.

Если же двигатель горячий, начальная смесь — *функция температуры воздуха и охлаждающей жидкости*



Фаза работы холодного двигателя.

В период прогрева двигателя выбор времени зажигания корректируется в соответствии с температурой охлаждающей жидкости. Выбор этого времени также меняется в зависимости от скорости двигателя и нагрузки. В течение фазы прогрева период открытия инжектора увеличивается по сигналу датчика температуры ОЖ, чтобы восполнить потери топлива и предотвратить понижение скорости двигателя.

Степень обогащения уменьшается по мере того, как падает сопротивление температурного датчика, и, наконец, достигает финального значения при 80 °С.



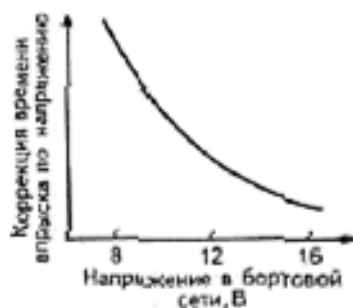
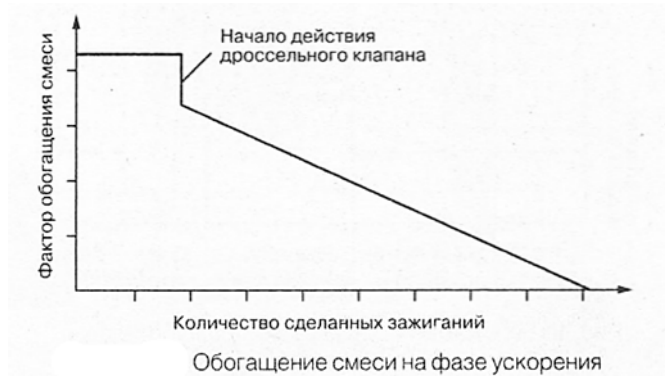
Фаза холостого хода. Параметры зажигания и впрыска для режима холостого хода устанавливаются по информации от потенциометра о том, что заслонка дросселя находится в положении холостого хода, а скорость вращения двигателя устанавливается по информации от датчика частоты вращения.

Фаза полной нагрузки. В условиях полной нагрузки выбор момента зажигания связан со скоростью вращения двигателя и информацией о полной нагрузке от потенциометра дроссельной заслонки. Для достижения максимальной мощности объем впрыска должен быть таким, чтобы отношение смеси увеличилось до 14,7:1. Сигнал от потенциометра дросселя заставляет программу в ECU обогащать смесь соответственно частоте вращения двигателя таким образом, чтобы гарантировать максимальную мощность в заданном диапазоне скорости, но при этом еще и **минимизировать риск детонации**. Также важно не увеличивать потребление топлива сверх меры и не допускать существенного роста вредных выбросов.



Фаза ускорения. Когда блок управления обнаруживает быстрое ускорение по скорости изменения

сигнала потенциометра дросселя, обогащение происходит за определенное количество циклов зажигания. Степень обогащения определяется по температуре охлаждающей жидкости и изменению давления в коллекторе впускного тракта. Затем обогащение уменьшается также за несколько циклов зажигания. Степень обогащения устанавливается за период калиброванного числа зажиганий, а затем уменьшается с фиксированной скоростью, пока не вернется к исходной. Обогащение не будет происходить, если скорость двигателя окажется выше 5000 1/мин или в режиме холостого хода. **При очень сильном ускорении возможен несинхронизированный впрыск.** Он определяется по температуре хладагента и ROM-карты положения дроссельного клапана в зависимости от скорости двигателя с поправкой на напряжение батареи

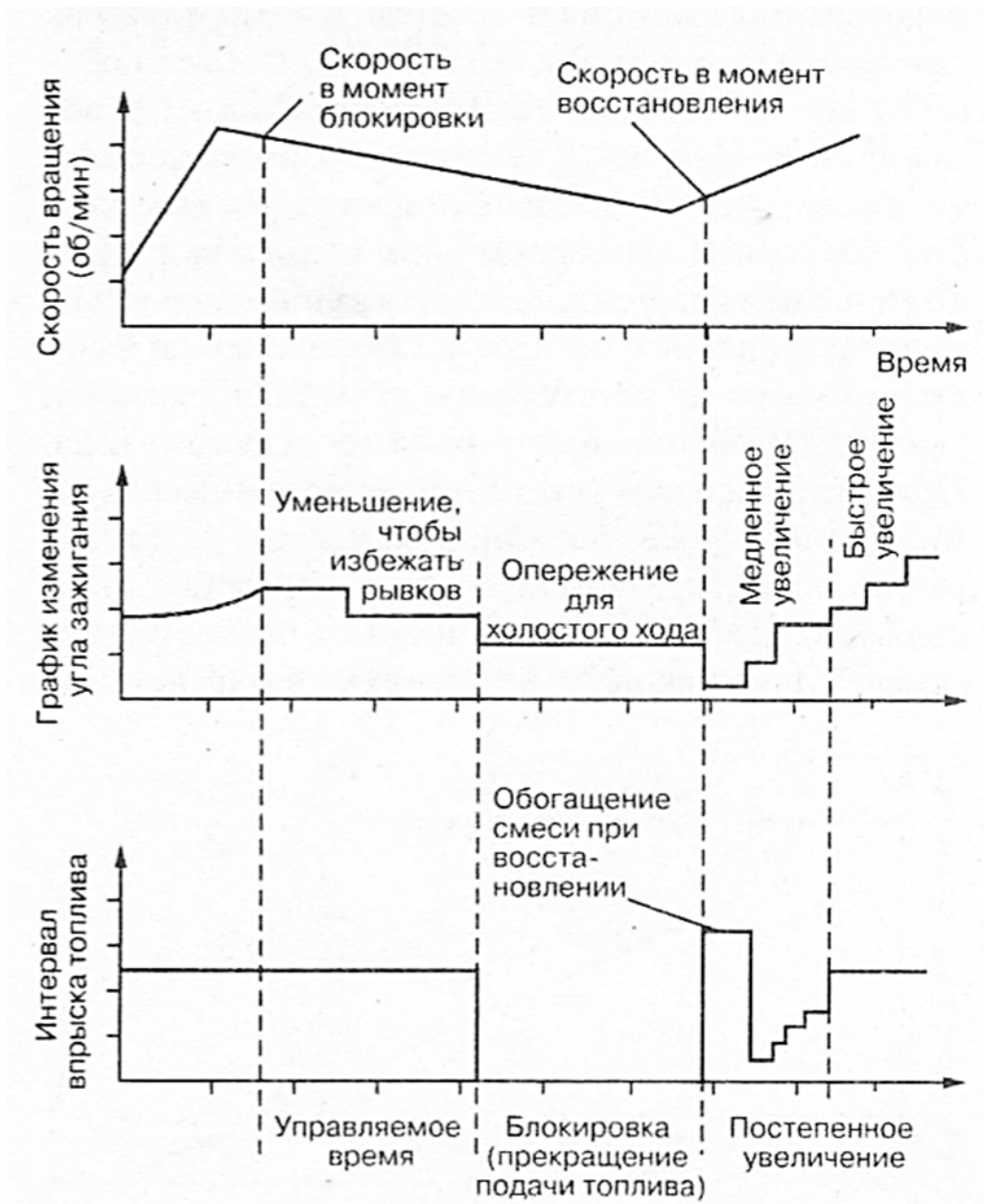


Коррекция по напряжению в бортовой сети, В

ФАЗА ЗАМЕДЛЕНИЯ.

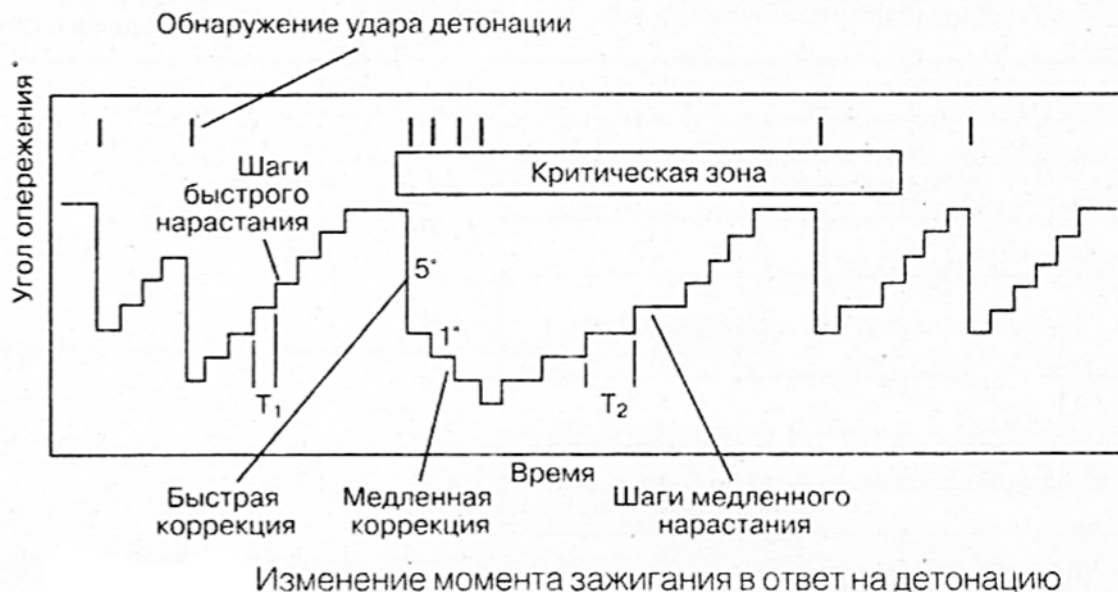
Если изменение давления во впускном коллекторе больше 30 мБар, ECU обедняет смесь в соответствии с обнаруженным изменением давления.

Блокировка впрыска на фазе замедления (экономайзер). Блокировка срабатывает, когда заслонка дросселя закрыта, а скорость двигателя — выше порога, определяемого температурой хладагента (около 1500 1/мин). Когда скорость двигателя падает примерно до 1000 1/мин, впрыск возобновляется с периодом, повышающимся до величины, связанной с текущими значениями скорости двигателя и нагрузки.



Стратегия, используемая для управления блокировкой и восстановлением впрыска

Фаза защиты от детонации. Выбор времени зажигания также регулируется для того, чтобы уменьшить рывки и возможные удары в период блокировки и восстановления впрыска. Расчетный момент опережения зажигания уменьшается, чтобы удерживать зажигание возможно ближе к границе детонации. Программа коррекции опережения для защиты от детонации учитывает период впрыска, скорость вращения и температуры воздуха и ОЖ.



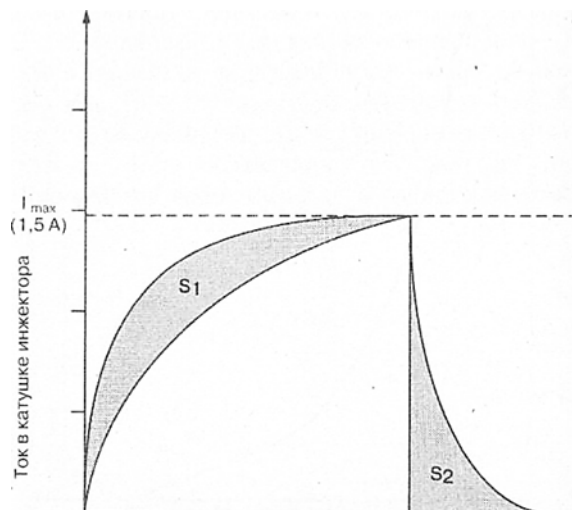
Ограничение скорости двигателя. Впрыск блокируется, когда скорость двигателя превысит 6900 1/мин, и восстанавливается, когда скорость уменьшается ниже указанной цифры. Это предотвращает возможность повреждения двигателя из-за чрезмерной скорости вращения.

Поправка на напряжение батареи. Эта коррекция дополняет все другие функции, чтобы компенсировать изменения в напряжении питания системы. Значение напряжения формируется каждый момент ВМТ, а затем поправка применяется ко всем вычислениям периода впрыска. приложенного напряжения зависит время, затрачиваемое на установление полного тока, текущего в обмотке инжектора, и время, необходим для прекращения этого тока.

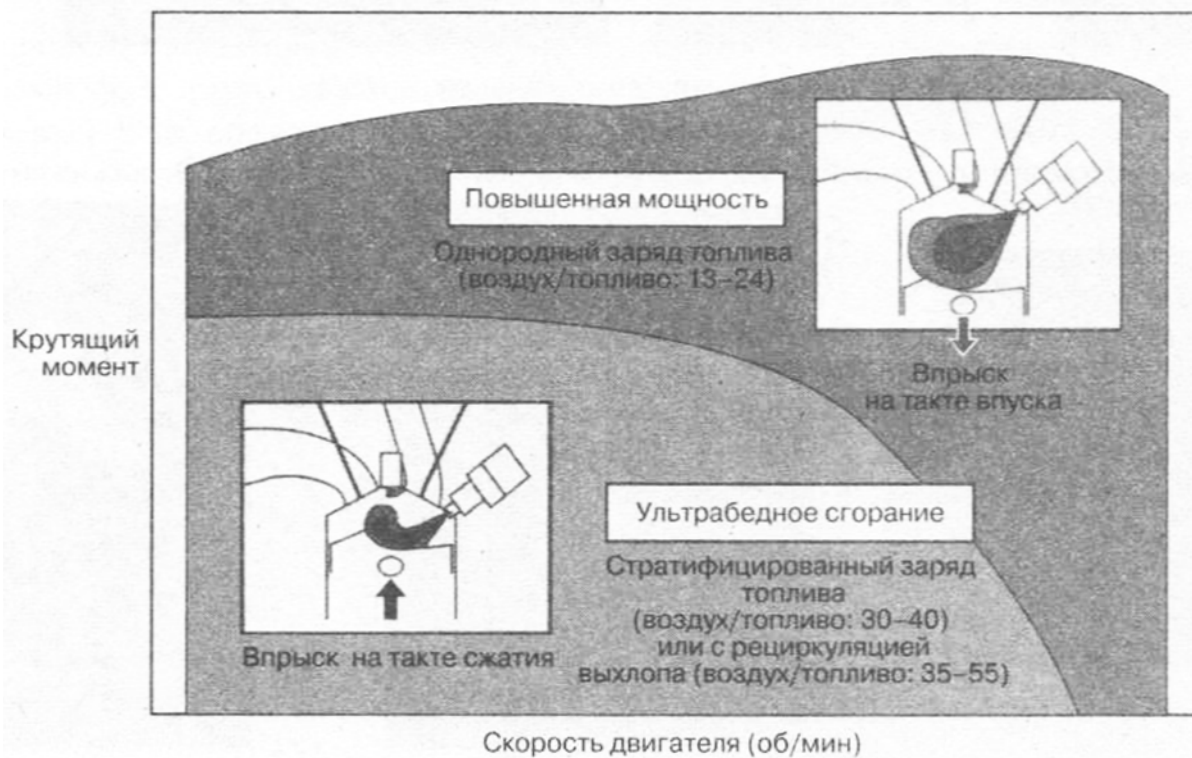
если S_1 больше чем S_2 , требуется корректировка:

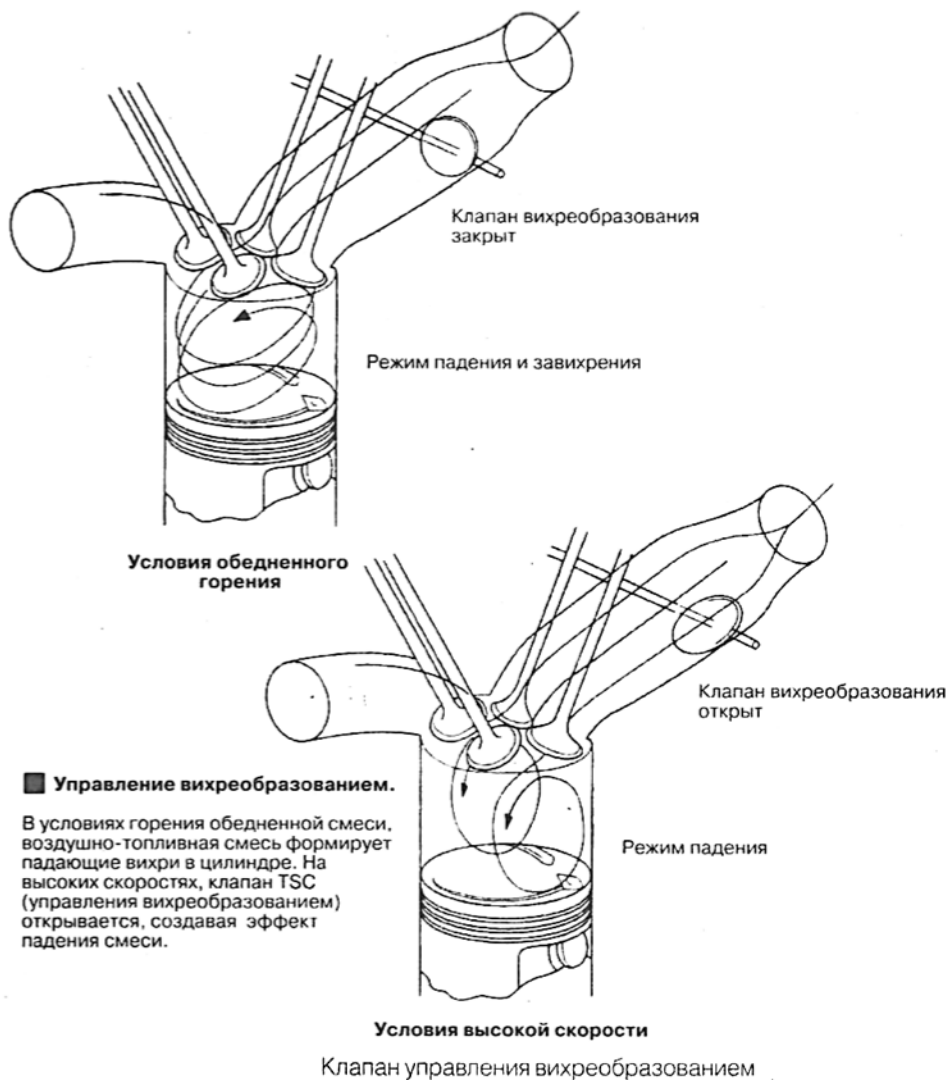
$$S_1 - S_2 = S$$

где S представляет задержку времени из-за индуктивности обмотки инжектора.



Классификация способов впрыска топлива





Система впрыска высокого давления для бензиновых двигателей, разработанная в компании Bosch, основана на применении резервуара топлива и топливной магистрали которую насос высокого давления наполняет топливом с регулируемым давлением до 120 бар. Масса всасываемого воздуха может быть отрегулирована посредством электронно управляемого дроссельного клапана (регулятора газа) и измерена с помощью измерителя массы воздуха. Для контроля качества смеси используется широкополосный датчик кислорода в выхлопном тракте. Этот датчик может измерять лямбда-показатель в диапазоне от 0,8 и до бесконечности. Электронный блок управления двигателем регулирует рабочие режимы двигателя с прямым впрыском бензина тремя способами:

- режим стратифицированного заряда топлива— $\alpha > 1$;
- режим однородной смеси, $\alpha = 1$;
- режим обогащенной однородной смеси, $\alpha = 0,8$.

Электронные системы автоматического управления (ЭСАУ) дизельных ДВС.

Электронные системы являются основой современных дизелей, позволяющей сделать их более мощными, эффективными, бесшумными, экономичными и экологичными. ЭБУ находят

применение во всех топливных системах дизелей:

- с распределительными и рядными топливными насосами высокого давления (ТНВД);
- топливными насосами с насос-форсунками;
- топливными системами с индивидуальными топливными насосами (ИТН);
- топливными системами Common Rail (аккумуляторными топливными системами).

Технические требования к дизельным топливным системам

Несмотря на высокий уровень топливной экономичности, системы топливоподачи дизелей постоянно совершенствовались. В настоящее время к этому добавились жесткие требования по уровню шума и по выбросам вредных веществ с ОГ.

В зависимости от типа рабочего процесса (непосредственный или разделенный впрыск) для обеспечения эффективного смесеобразования топливная

система должна обеспечить впрыск топлива в камеру сгорания (или в предка-

меру) под очень высоким давлением (в пределах от 350 до 2000 бар). При этом дозирование подачи топлива должно быть весьма точным. Следует отметить, что для дизелей управление частотой вращения и мощностью осуществляется **изменением подачи топлива без дросселирования подачи воздуха**. Наблюдается устойчивая тенденция замены механических центробежных регуляторов

ТНВД электронными системами. Это связано с тем, что выполнение повышенных требований по увеличению топливной экономичности и снижению уровня шума дизелей невозможны при использовании топливных систем с механическими (центробежными) регуляторами частоты вращения. Современные ЭСАУ

дизельных ДВС позволяют получить точное и исключительно гибкое управление впрыскиванием топлива, что позволяет выполнить широкий ряд технических требований, предъявляемых к современным дизелям:

- высокое давление впрыска топлива;
- формирование требуемой характеристики впрыска;
- предварительный впрыск и возможность дополнительного впрыска;
- адаптация количества впрыскиваемого топлива (цикловой подачи) и давления наддува конкретному рабочему режиму двигателя;
- температурно-зависимая величина пусковой подачи топлива;
- управление режимом холостого хода независимо от нагрузки;
- управление рециркуляцией ОГ с обратной связью (наличие λ -зонда);
- жесткий допуск по цикловой подаче и углу опережения впрыска (УОВ) топлива, наряду с высокой точностью в течение всего срока службы автомобиля и трактора;
- электронная связь с другими системами (скорость движения и т. д.).

По сравнению с традиционными топливными системами с рядными или распределительными ТНВД с кулачковым приводом, аккумуляторная топливная система для дизелей с непосредственным впрыском обладает следующими неоспоримыми преимуществами:

- широкая область применения (от легковых автомобилей цилиндровой мощностью до 30 кВт/цилиндр до судовых дизелей цилиндровой мощностью 200 кВт/цилиндр);
- высокое давление впрыска (до 1400 бар);
- переменный угол опережения впрыска;
- возможность двухфазного и многофазного впрыскивания;
- соответствие давления впрыскивания скоростному и нагрузочному режимам.

Принцип работы CRS. Создание давления и непосредственный процесс впрыска в аккумуляторной топливной системе полностью разделены [8].

Высокое давление в топливной системе создается независимо от частоты вращения коленчатого вала двигателя и количества впрыскиваемого топлива.

Топливо, готовое для впрыска, находится под высоким давлением в аккумуля-

ляторе. Количество впрыскиваемого топлива (цикловая подача) определяется

действиями водителя, а угол опережения и давление впрыска определяются

ЭБУ на основе программируемых матриц характеристик, хранящихся в памяти микропроцессора. ЭБУ выдает управляющий пусковой сигнал на соответствующие электромагнитные клапаны, в результате чего осуществляется впрыск форсункой в каждый цилиндр.

Компоненты электронного управления CRS:

- ЭБУ 2 (рис. 6.8);
- датчик частоты вращения коленчатого вала 7;
- датчик частоты вращения распределительного вала (на рис. 6.8 не показан);
- датчик положения педали акселератора 4;
- датчик давления наддува (не показан);
- датчик давления в аккумуляторе (не показан);
- датчик температуры охлаждающей жидкости 6;
- массовый расходомер воздуха 1.

Используя входные сигналы указанных выше датчиков, ЭБУ регистрирует положение педали акселератора и определяет на данный момент времени рабочую характеристику дизеля и автомобиля или трактора как единого целого.

На основе полученной информации ЭБУ может через разомкнутые и замкну-

тые контуры осуществлять управляющие действия с машиной и, особенно, с двигателем. Частота вращения двигателя измеряется датчиком частоты

вращения коленчатого вала, а порядок чередования вспышек – датчиком час-

тоты вращения (положения) распределительного вала. Электрический сигнал, образующийся на потенциометре педали акселератора, информирует

ЭБУ о том, как сильно водитель нажал на педаль, другими словами – о его требованиях к величине крутящего момента.

Массовый расходомер воздуха обеспечивает ЭБУ данными о мгновенном расходе воздуха, чтобы адаптировать процесс сгорания соответствию нормам эмиссии вредных веществ с ОГ. Если на двигателе с турбонаддувом установлен компрессор с регулируемым давлением наддува, то измерение последнего осуществляется датчиком давления наддува. При низких температурах окружающей среды и при холодном двигателе ЭБУ использует информацию датчиков температуры охлаждающей жидкости и температуры воздуха,

чтобы адаптировать полученные данные для установки угла опережения

впрыска, использования дополнительного впрыска (после основного) и дру-

гих параметров в зависимости от эксплуатационных условий. В зависимости

от конкретной машины для того чтобы удовлетворять повышенным требова-

ниям к безопасности и комфорту, могут использоваться другие датчики, посылающие сигналы в ЭБУ.

76

Массовый расходомер воздуха обеспечивает ЭБУ данными о мгновенном расходе воздуха, чтобы адаптировать процесс сгорания соответствию нормам эмиссии вредных веществ с ОГ. Если на двигателе с турбонаддувом установлен компрессор с регулируемым давлением наддува, то измерение последнего осуществляется датчиком давления наддува. При низких температурах окружающей среды и при холодном двигателе ЭБУ использует информацию датчиков температуры охлаждающей жидкости и температуры воздуха, чтобы адаптировать полученные данные для установки угла опережения впрыска, использования дополнительного впрыска (после основного) и других параметров в зависимости от эксплуатационных условий. В зависимости от конкретной машины для того чтобы удовлетворять повышенным требованиям к безопасности и комфорту, могут использоваться другие датчики, посылающие сигналы в ЭБУ.

Основные функции ЭСАУ заключаются в правильном управлении процессом впрыска дизельного топлива в нужный момент и в требуемом количестве, а также при необходимом давлении впрыска. Это обеспечивает плавную и экономичную работу дизеля.

Дополнительные функции ЭСАУ с учетом и без учета обратной связи служат для улучшения характеристик по снижению эмиссии вредных веществ с ОГ и расхода топлива или используются для повышения безопасности, комфорта и удобства управления. В качестве примеров можно привести систему рециркуляции ОГ, регулирование давления наддува, систему поддержания постоянной скорости автомобиля (Cruise Control), электронный иммобилайзер.

Система передачи данных CAN позволяет проводить обмен данными между различными электронными системами автомобиля (например, антиблокировочной системой тормозов (ABS), системой управления коробкой

передач). При проверке автомобиля на СТО диагностический интерфейс позволяет проводить оценку данных, хранящихся в памяти электронной сис-

темы управления.

CAN – электронная цифровая шина последовательной передачи данных (Controller Area Network – сеть

Характеристики впрыскивания топлива:

1. Топливные системы с рядными или распределительными ТНВД.

Характеристика впрыска топлива представляет собой главный впрыск, без предварительного и дополнительного впрысков (рис. 6.9).

Поскольку

процессы создания высокого давления и обеспечения требуемой подачи топ-

лива связаны друг с другом работой кулачкового привода и плунжеров ТНВД,

характеристики впрыска имеют свои особенности: давление впрыска увели-

чивается с увеличением частоты вращения и цикловой подачи; в период про-

цесса впрыска давление впрыска увеличивается и затем падает при посадке иглы форсунки на седло.

Следствиями такого процесса являются:

– меньшее количество топлива впрыскивается при меньшем давлении, по сравнению с впрыском большого количества топлива (рис. 6.9);

бортовых контроллеров)

– максимальная величина давления P

\max (пик кривой давления) более

чем в два раза превышает среднее давление впрыска P

$ср$;

– в соответствии с требованиями для эффективного сгорания топлива кривая давления впрыска является практически треугольной [8].

Максимальная величина давления впрыска является решающим фактором, определяющим нагрузку на ТНВД и его компоненты. Для топливной системы в целом это важно с точки зрения качества топливовоздушной смеси,

образующейся в камере сгорания.

2. В аккумуляторной топливной системе удовлетворяются следующие требования двухфазного впрыска:

– независимо друг от друга величина подачи (количество впрыскиваемого топлива) и давление впрыска топлива определяются для всех эксплуатаци-

онных условий работы двигателя (что обеспечивает свободу достижения

идеального состава топливовоздушной смеси);

– в начале процесса впрыска величина подачи может быть по возможности минимальной (предварительный впрыск в период задержки воспламе-

нения между началом впрыска и началом сгорания) (см. рис. 6.10).

Требуемые характеристики впрыска обеспечиваются следующими компонентами аккумуляторной топливной системы:

– аккумулятором топлива;

– ТНВД;

– электронным блоком управления;

– датчиком частоты вращения коленчатого вала;

– датчиком частоты вращения распределительного вала (датчиком фаз).

Предварительный впрыск топлива. Угол опережения предварительного впрыска – запальной порции топлива – может составить 90° до ВМТ.

Если УОВ меньше 40° до ВМТ, из-за осаждения капель топлива на стенках цилиндра может произойти разжижение моторного масла.

При наличии предварительного впрыска в камеру сгорания впрыскивается небольшое количество дизельного топлива ($1-4 \text{ мм}^3$), что приводит в результате к улучшению эффективности сгорания, а также к достижению следующих показателей:

– благодаря началу реакций горения давление сжатия немного увеличивается, что, в свою очередь, приводит к уменьшению периода задержки воспламенения после основного впрыска;

– процесс сгорания протекает более мягко как результат уменьшения максимального давления сгорания (уменьшается жесткость процесса сгорания).

Такое протекание рабочего процесса снижает шум процесса сгорания, уменьшает расход топлива и во многих случаях снижает эмиссию вредных веществ с ОГ. В случае однофазного впрыска, без использования предвари-

тельного впрыска, имеет место плавный подъем кривой давления впрыска непосредственно перед ВМТ и относительно резкий подъем, максимальный

пик давления после ВМТ. Такой резкий подъем давления в цилиндре способствует появлению значительного шума сгорания дизеля.

Использование

предварительного впрыска приводит к более плавному росту давления в ци-

линдре (рис. 6.11).

Поскольку при двухфазном впрыске топлива уменьшается период задержки воспламенения, то можно сказать, что предварительный впрыск вно-

сит косвенный вклад в формирование кривой крутящего момента двигателя.

При этом удельный эффективный расход топлива может увеличиваться или

уменьшаться в зависимости от величины угла опережения основного впрыска

и от периода между предварительным и основным впрысками.

Основной впрыск топлива. В аккумуляторной топливной системе давление впрыска в течение всего процесса впрыскивания остается почти неиз-

менным. Основной впрыск обеспечивает энергию для получения показателей

мощности и крутящего момента дизеля.

Вторичный впрыск топлива может применяться для снижения эмиссии NOx при установке на двигатель некоторых версий каталитических нейтрализаторов. Этот впрыск следует за основным и происходит во время процесса расширения с интервалом до 200° после ВТМ. При вторичном

впрыске в цилиндр, уже при наличии ОГ, вводится точно дозированное коли-

чество топлива.

В отличие от процессов предварительного и основного впрысков, дополнительно впрыскиваемое топливо на линии расширения не воспламеняется,

но благодаря теплу ОГ, хорошо в них испаряется. Во время такта выпуска образовавшаяся смесь ОГ и топлива удаляется из цилиндра через выпускной

клапан в выпускную систему, при этом часть топлива возвращается в цилиндр через систему рециркуляции ОГ и производит, таким образом, эф-

фект, подобный предварительному впрыску. При условии установки соответ-

ствующего каталитического нейтрализатора NOx дополнительная доза топлива используется в ОГ как агент, снижающий содержание NOx в ОГ.

Снижение токсичности ОГ

В отличие от бензиновых двигателей в дизелях происходит сгорание топлива с низкой испаряемостью (высокой температурой кипения), а процесс

образования топливовоздушной смеси происходит не только в период задержки воспламенения, но также во время протекания процесса сгорания.

В результате топливовоздушная смесь не является полностью гомогенной.

Рабочий процесс дизелей протекает при значениях коэффициента избытка

воздуха (λ) больше единицы, а при недостатке избыточного воздуха увеличиваются

расход топлива и эмиссия частиц сажи, СО и СН.

Образование топливовоздушной смеси определяется факторами:

- давлением впрыска;
- продолжительностью процесса впрыска;
- факелом распыливания топлива (числом сопловых отверстий, размером факелов распыливания, направлением струи топлива);
- углом опережения впрыска;
- структурой потока воздуха в камере сгорания;
- массой воздуха.

Указанные факторы оказывают влияние на эмиссию вредных веществ с ОГ и на расход топлива. Высокая температура сгорания и высокий уровень

концентрации кислорода приводят к увеличению образования NO_x. Увеличение эмиссии сажи, наоборот, происходит при недостатке кислорода и плохом перемешивании топлива с воздухом.

Положительный эффект на снижение эмиссии вредных веществ с ОГ дают правильный выбор формы камеры сгорания и впускного канала для обеспечения эффективного перемешивания воздуха и топлива и полного его сгорания. Кроме того, положительный эффект достигается при гомогенном смешивании воздуха с ОГ и охлаждении тракта рециркуляции ОГ. Двигатели с четырьмя клапанами на цилиндр и турбонаддув с регулируемой геометрией турбины (VTG – Variable-turbine geometry) также вносят свой вклад в снижение эмиссии вредных веществ и повышение мощности двигателя.

82

Положительный эффект на снижение эмиссии вредных веществ с ОГ дают правильный выбор формы камеры сгорания и впускного канала для

обеспечения эффективного перемешивания воздуха и топлива и полного его

сгорания. Кроме того, положительный эффект достигается при гомогенном смешивании воздуха с ОГ и охлаждении тракта рециркуляции ОГ.

Двигатели

с четырьмя клапанами на цилиндр и турбонаддув с регулируемой геометрией

турбины (VTG – Variable-turbine geometry) также вносят свой вклад в сниже-

ние эмиссии вредных веществ и повышение мощности двигателя.

Рециркуляция отработавших газов (РОГ)

Без системы рециркуляции ОГ эмиссия NO

x

оказывается выше установленных законодательных норм, в то время как эмиссия сажи оказывается

в пределах, предусмотренных нормами.

Рециркуляция отработавших газов – это метод снижения эмиссии NO

x

без существенного увеличения образования сажи в двигателе. Это обстоя-

тельство может быть весьма эффективно применено в дизелях с аккумуляторной топливной системой благодаря прекрасной возможности достижения

почти идеальной топливовоздушной смеси как результат высокого давления

впрыска. В системе РОГ на режимах частичных нагрузок часть ОГ направля-

ется во впускной коллектор. Это не только уменьшает содержание кислорода

в камере сгорания, но также влияет на протекание процесса сгорания и сни-

жает максимальную температуру во фронте пламени, в результате чего про-

исходит снижение эмиссии NO

x. Однако, при слишком большой степени

рециркуляции, превышающей 40 % от объема воздуха на впуске, происходит

увеличение расхода топлива из-за недостатка кислорода.

На топливную экономичность и эмиссию вредных выбросов с ОГ дизеля оказывают существенное влияние величина угла опережения впрыска, харак-

теристика впрыска (форма характеристики давления впрыска) и тонкость

распыливания топлива.

При небольших углах опережения впрыска, то есть при позднем впрыске, процесс сгорания протекает при низких температурах, что снижает эмиссию NOx, однако, если угол опережения впрыска слишком мал, то увеличиваются выброс углеводородов СН и расход топлива, как и эмиссия сажи на режимах

больших нагрузок. При отклонении угла опережения впрыска от оптимального только на 1° поворота коленчатого вала эмиссия NO_x может увеличиться на 5 %. Отклонение угла на 2° в сторону опережения впрыска может привести к увеличению максимального давления сгорания на 10 бар, а отклонение угла на 2° в сторону запаздывания приводит к увеличению температуры отработавших газов на 20°C . Такая высокая чувствительность требует очень точного регулирования угла опережения впрыска.

Кривая характеристики давления впрыска определяет изменение количества впрыскиваемого топлива в течение одного цикла (от начала впрыска,

то есть от момента начала подъема иглы форсунки, до конца впрыска). Характеристика давления впрыска определяет также количество топлива, впрыскиваемого в период задержки воспламенения (от начала впрыска до начала процесса сгорания), а поскольку это оказывает влияние на распределение топлива по камере сгорания, то также влияет на эффективность использования воздуха в процессе сгорания.

Кривая характеристики давления впрыска должна иметь плавный подъем, для чего подача топлива в период задержки воспламенения должна быть све-

дена к минимуму. Эта порция топлива моментально сгорает, как только начинается воспламенение, с сопутствующими негативными эффектами по шумности двигателя и эмиссии NO_x . Кривая характеристики давления должна резко «падать», для того чтобы предотвратить плохое качество распыливания топлива, ведущее к увеличению эмиссии CH и сажи и увеличению расхода топлива в финальной фазе процесса сгорания.

Тонкость впрыска топлива способствует эффективному перемешиванию воздуха с топливом, что обеспечивает снижение эмиссии углеводородов

и сажи. Хорошее качество распыливания топлива обеспечивается высоким давлением впрыска и оптимальной геометрической конфигурацией сопловых

отверстий в распылителе форсунки. Чтобы предотвратить видимый выброс сажи с ОГ, количество впрыскиваемого топлива должно соответствовать расходу воздуха, что предусматривает количество избыточного воздуха, по крайней мере, на 10–40 % (λ составляет 1,1–1,4). Как только игла форсунки садится на седло, топливо в сопловых отверстиях может испаряться (в случае распылителей с подыгольным объемом топливо испаряется в этом объеме), и эмиссия углеводородов CH в процессе увеличивается. Это означает, что такие вредные объемы должны быть сведены к минимуму.