

# 1. Непосредственный впрыск бензина

## 1.1. Обзор систем впрыска (рис. 1)

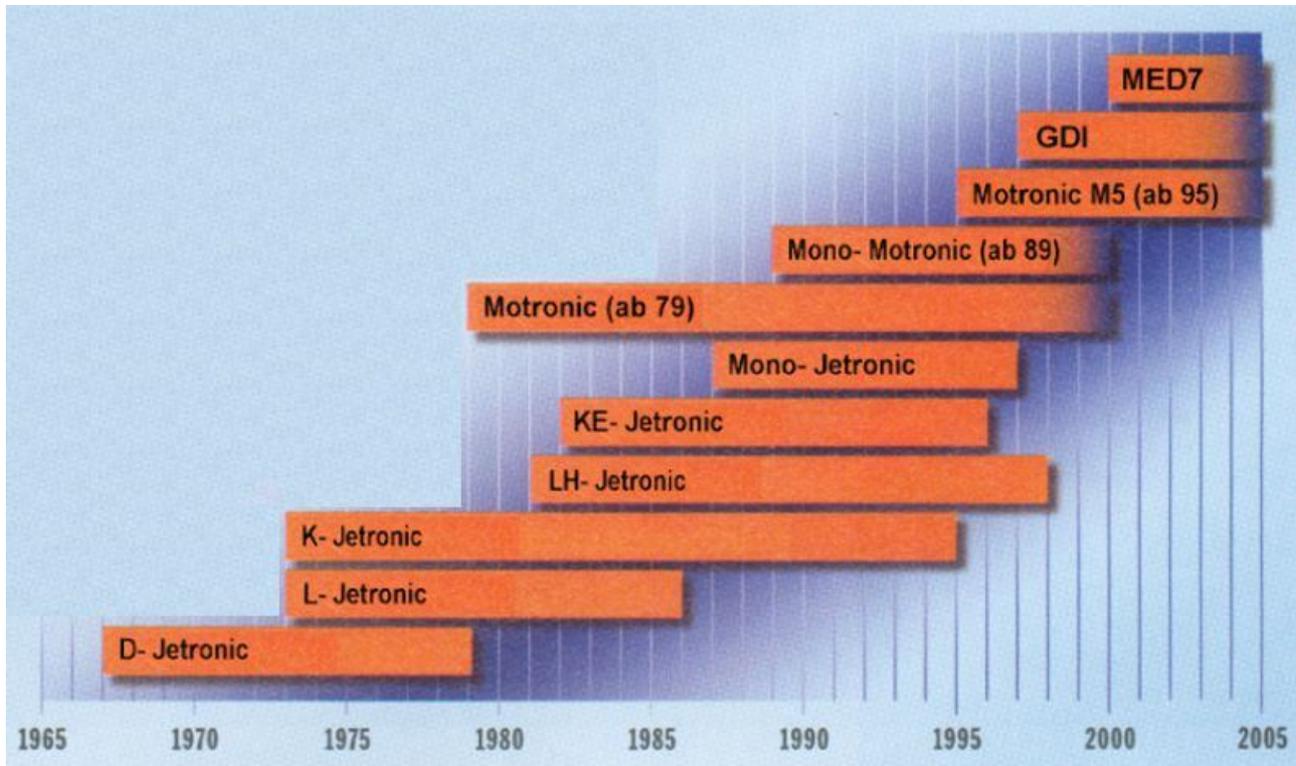


Рис. 1. Применяемость различных систем впрыскивания бензина

Классификация способов подачи бензина в двигатель представлена на рис. 2.

Схема непосредственного впрыскивания бензина представлена на рис. 3. Топливо впрыскивается в цилиндр мотора, где оно перед воспламенением смешивается с воздухом.

### **Преимущества:**

- отсутствуют потери при конденсации топлива на стенках впускного тракта;
- более высокое наполнение цилиндра воздухом, так как наполнение происходит чистым воздухом (а при внешнем смесеобразовании пары топлива занимают значительный объем в цилиндре, что уменьшает наполнение воздухом), соответственно большая мощность может быть получена при том же рабочем объеме двигателя;
- меньшее гидравлическое сопротивление на впуске также повышает наполнение (нет карбюратора, нет форсунок во впускном коллекторе).

### **Признаки непосредственного впрыска бензина:**

- конфигурация впускного тракта способствует организации как послойного, так и гомогенного смесеобразования;



Рис. 2. Способы подачи бензина в ДВС

- поршни имеют выемку, которая способствует образованию вращающегося потока вокруг поперечной оси цилиндра;
- форсунки высокого давления с завихрением и изменением направления потока распыленного топлива;
- топливный насос высокого давления (5,0 – 10,0 МПа);
- высокая степень сжатия (около 12,5).

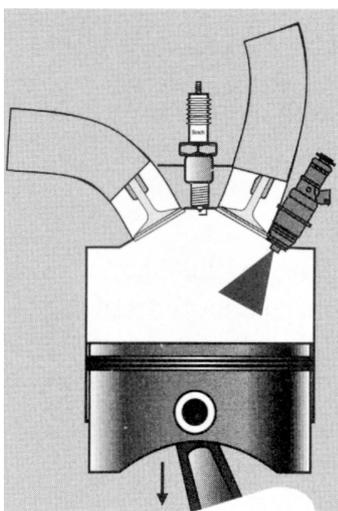


Рис. 3. Схема непосредственного впрыскивания

На рис. 4 представлены датчики комплексной системы управления двигателем с непосредственным впрыскиванием бензина.

На рис. 5 представлены исполнительные механизмы комплексной системы управления двигателем.

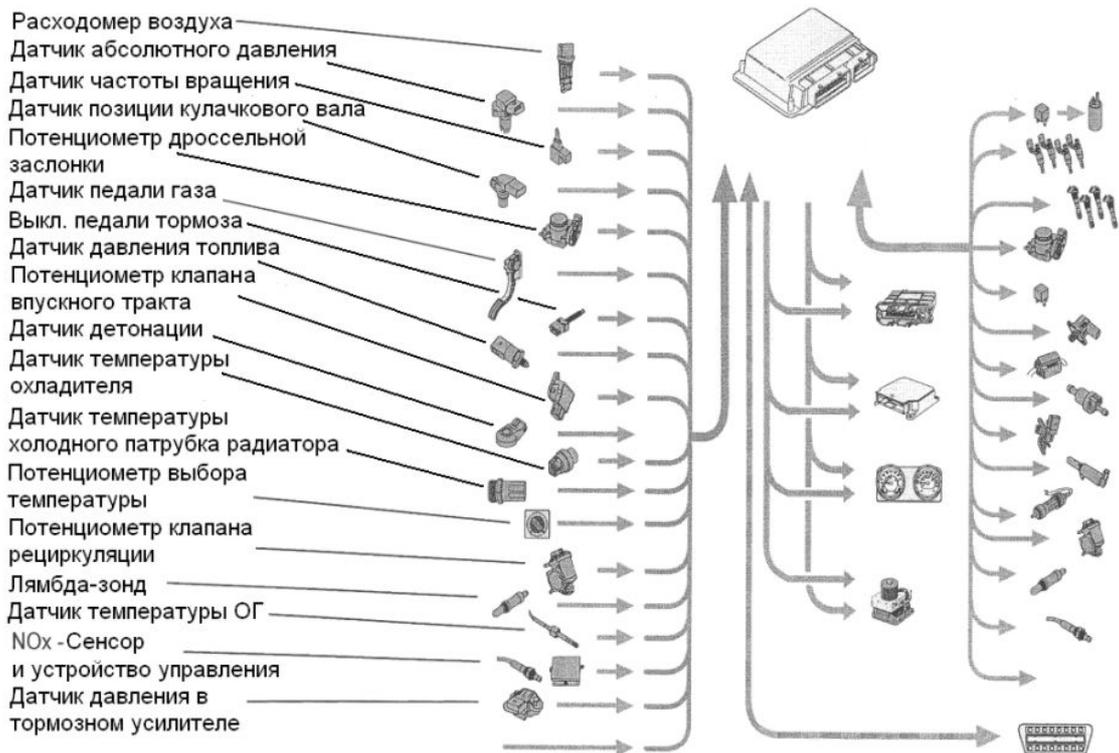


Рис. 4. Датчики комплексной системы управления двигателем

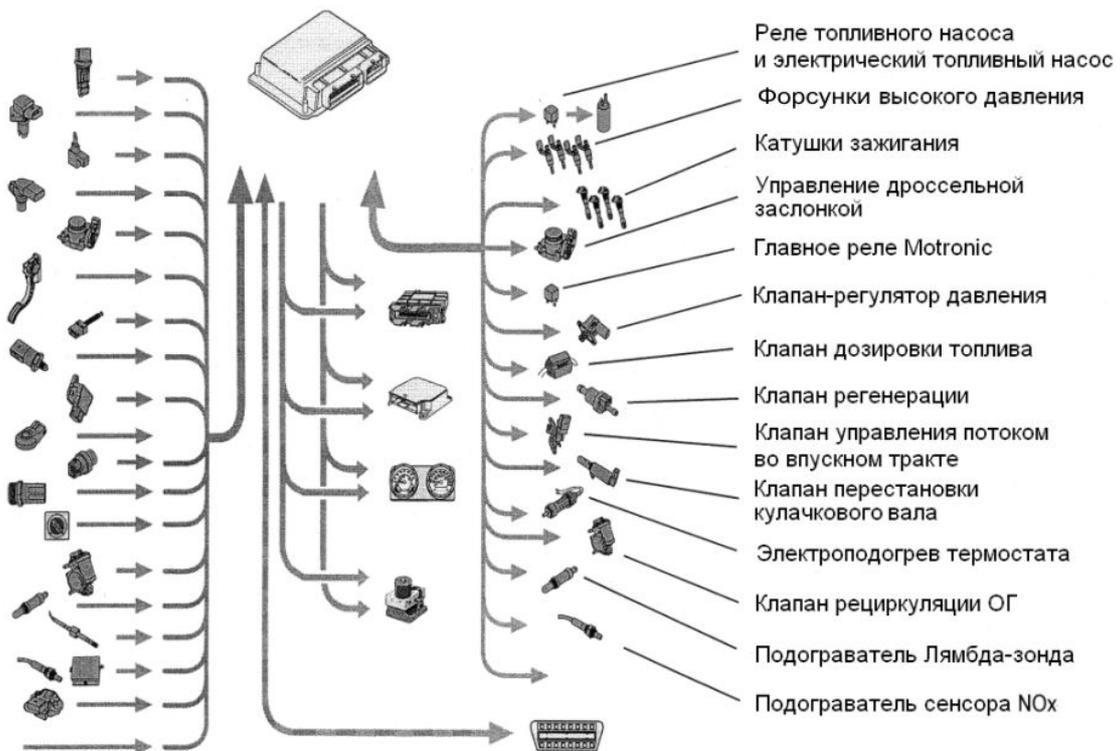
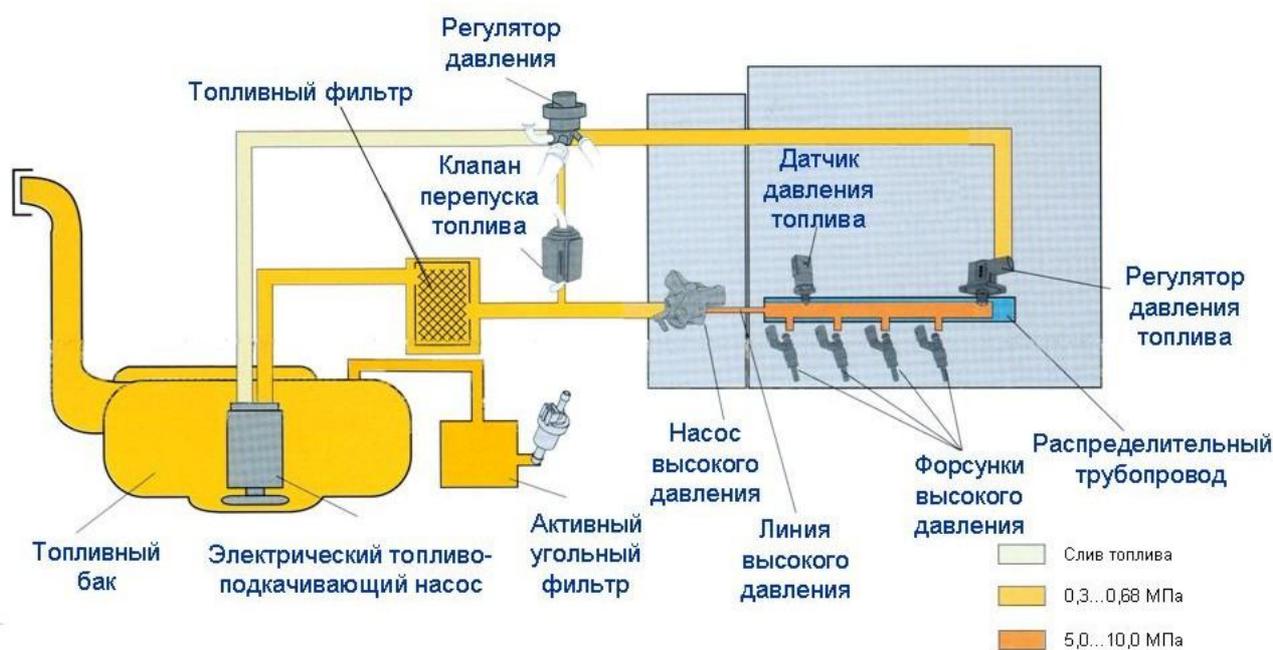


Рис. 5. Исполнительные механизмы системы управления двигателем

## 1.2. Система топливоподачи (рис. 6)



*Рис. 6. Схема системы подачи топлива при непосредственном впрыскивании бензина*

Насос высокого давления с тремя радиальными плунжерами приводится от впускного распределительного вала. Благодаря трем расположенным через  $120^\circ$  насосным секциям колебания давления в распределительном трубопроводе относительно малы. Насос должен подавать топливо в распределительный трубопровод под давлением до 10 МПа.

Датчик давления топлива вворачивается в распределительный трубопровод и предназначен для измерения давления в нем. Сигнал датчика используется блоком управления двигателем для регулирования давления топлива в контуре высокого давления по многопараметровой характеристике.

Регулятор давления топлива предназначен для регулирования давления в распределительном трубопроводе независимо от расхода топлива через форсунки и от его подачи насосом высокого давления. Посредством него распределительный трубопровод сообщается со сливной магистралью, через которую топливо возвращается в бак.

На рис. 7 представлен внешний вид электромагнитной форсунки высокого давления для непосредственного впрыскивания бензина, а на рис. 8 — внутреннее устройство форсунки.

При подаче напряжения на обмотку электромагнита форсунки вокруг нее создается магнитное поле. Оно втягивает в себя якорь электромагнита с иглой форсунки, которая поднимается с седла. В результате топливо впрыскивается в цилиндр двигателя.

При падении подаваемого на обмотку электромагнита напряжения магнитное поле исчезает, а игла распылителя прижимается пружиной к своему седлу. В результате впрыск топлива прекращается.

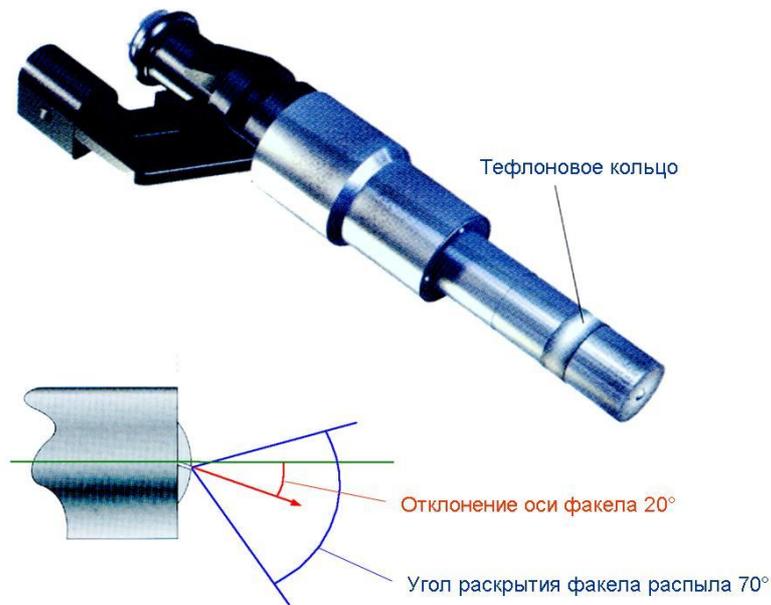


Рис. 7. Общий вид форсунки высокого давления и углы факела распыла топлива

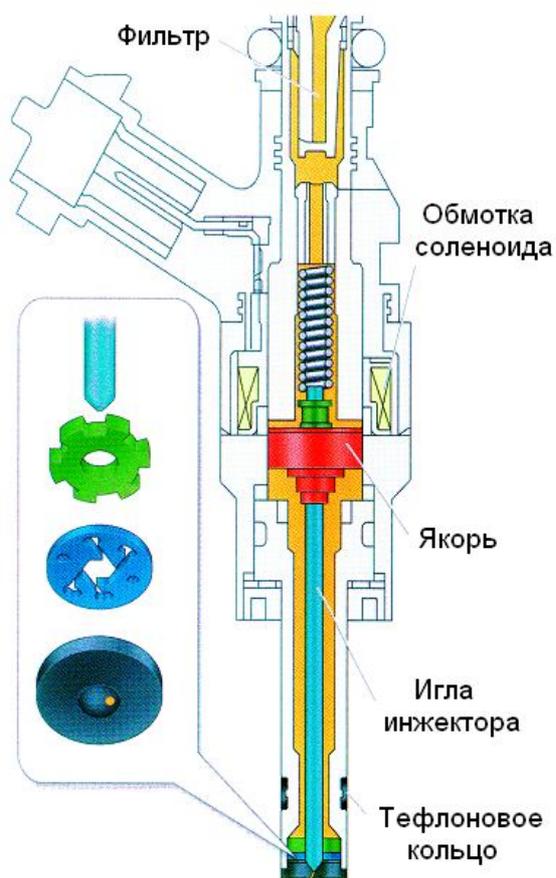


Рис. 8. Устройство форсунки высокого давления

Управляющее напряжение подается на форсунки через электронный коммутатор в блоке управления двигателем. Чтобы обеспечить быстрое открытие форсунки, после фазы предварительного намагничивания малым током на ее обмотку подается напряжение порядка 90 вольт. При этом напряжении ток в обмотке достигает 10 ампер. Если форсунка открыта, достаточно подать 30 вольт, чтобы удерживать ее в этом состоянии. При этом ток в ее обмотке равен 3...4 ампера.

### 1.3. Система впуска воздуха (рис. 9, 10)

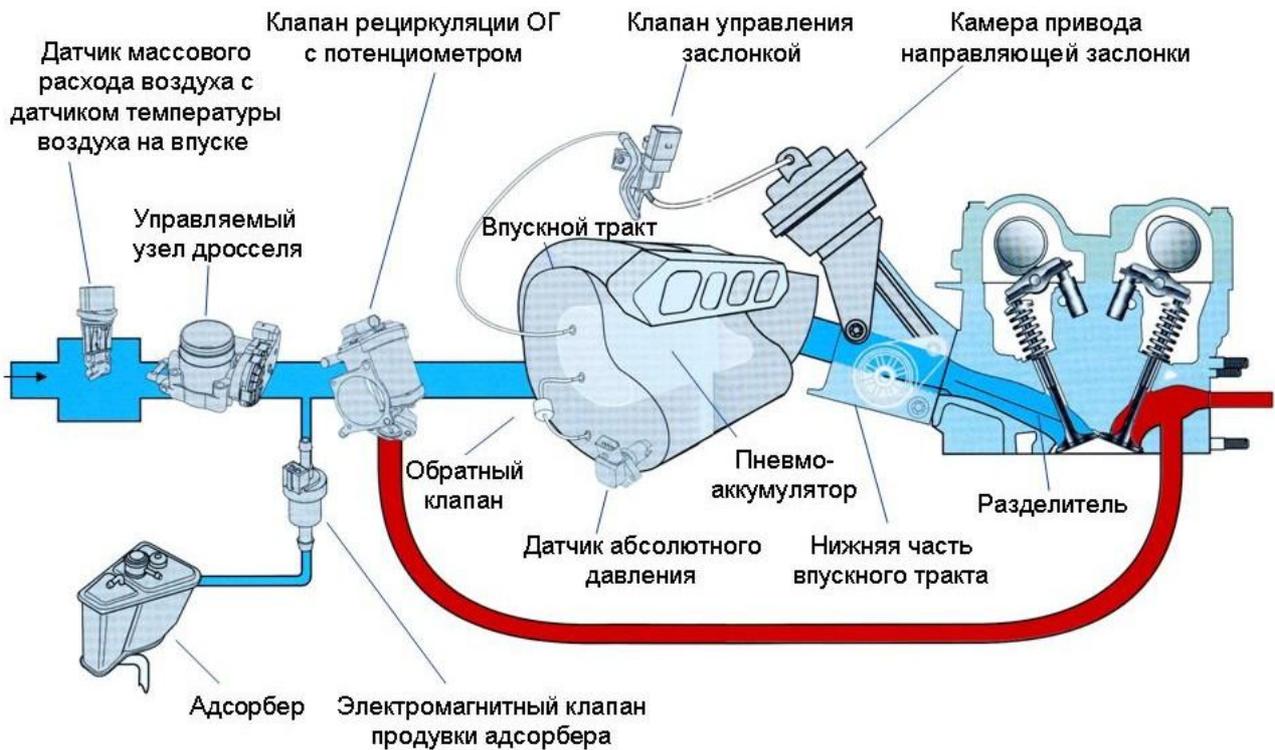


Рис. 9. Схема подачи воздуха

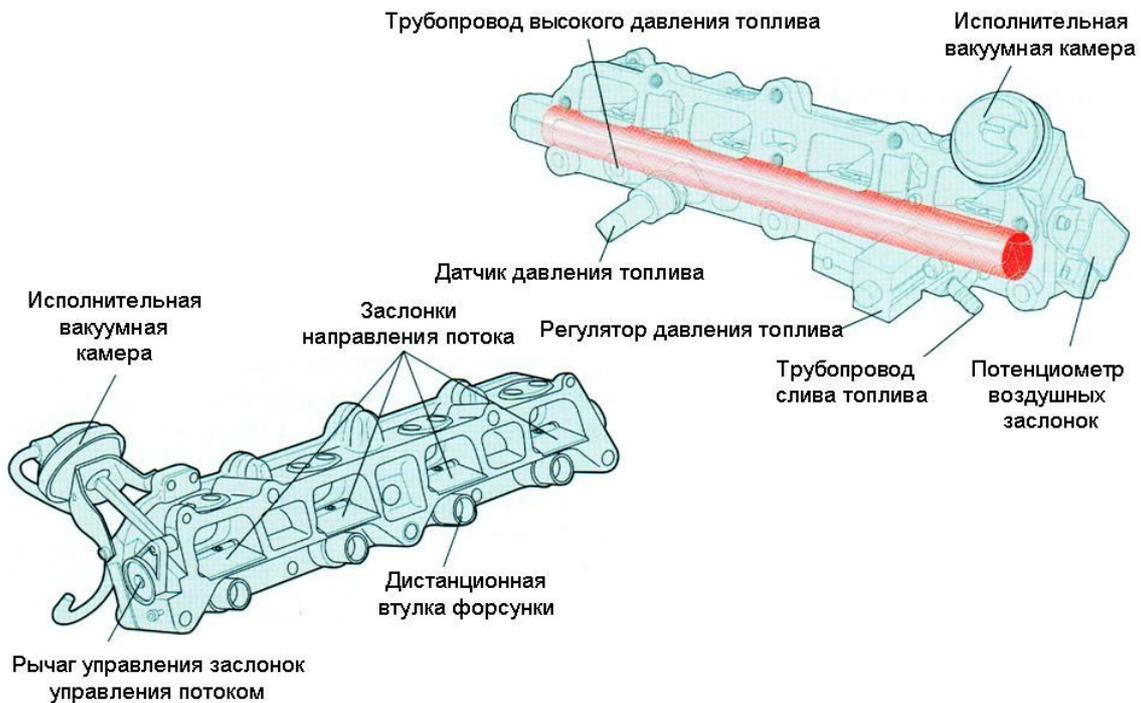


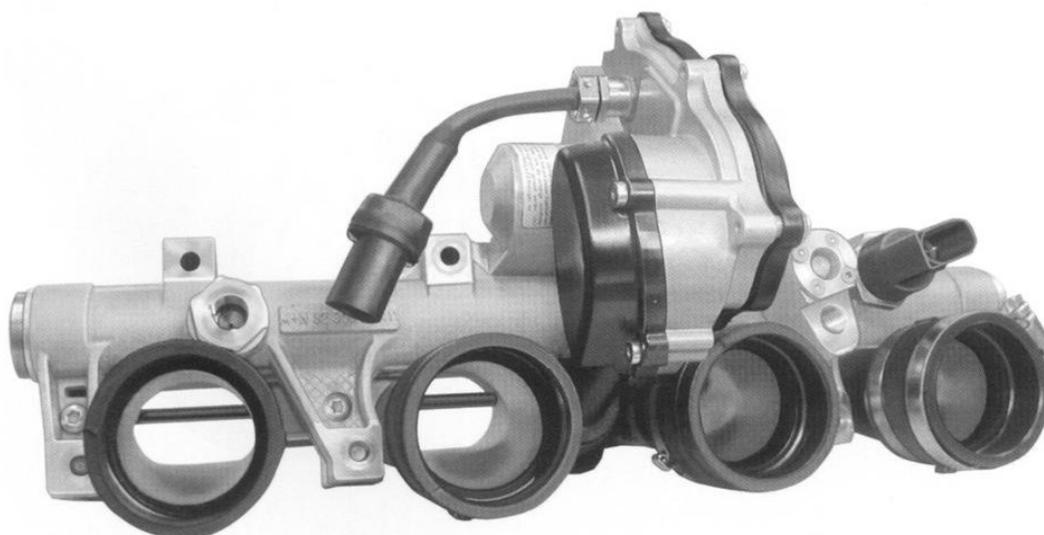
Рис. 10. Узел воздушных заслонок

Распознавание положения заслонок направления потока во впускном тракте необходимо, так как от направления потока воздуха зависит получаемый способ смесеобразования. Вследствие этого установка заслонок впускного тракта зависит от рециркуляции отработавших газов и должно контролироваться электронным блоком управления (рис. 11).



*Рис. 11. Воздушный ресивер с элементами управления*

Заслонка направления потока воздуха во впускном тракте управляется контроллером, который открывает путь от резервуара пониженного давления к камере исполнительного элемента. Исполнительный элемент приводит в действие заслонки направления потока воздуха во впускном тракте. Конструкция представлена на рис. 12.



*Рис. 12. Нижняя часть впускного тракта с управляющим элементом и встроенным потенциометром положения направляющих заслонок*

Во время впуска воздух может поступать в цилиндр либо через верхнюю часть впускного канала, либо через все его поперечное сечение в зависимости от положения управляемой воздушной заслонки перед делителем впускного канала (рис. 13), что позволяет организовать различные виды смесеобразования внутри цилиндра. Выемки в поршне способствуют организации нужного движения воздуха и потока топлива (рис. 14).

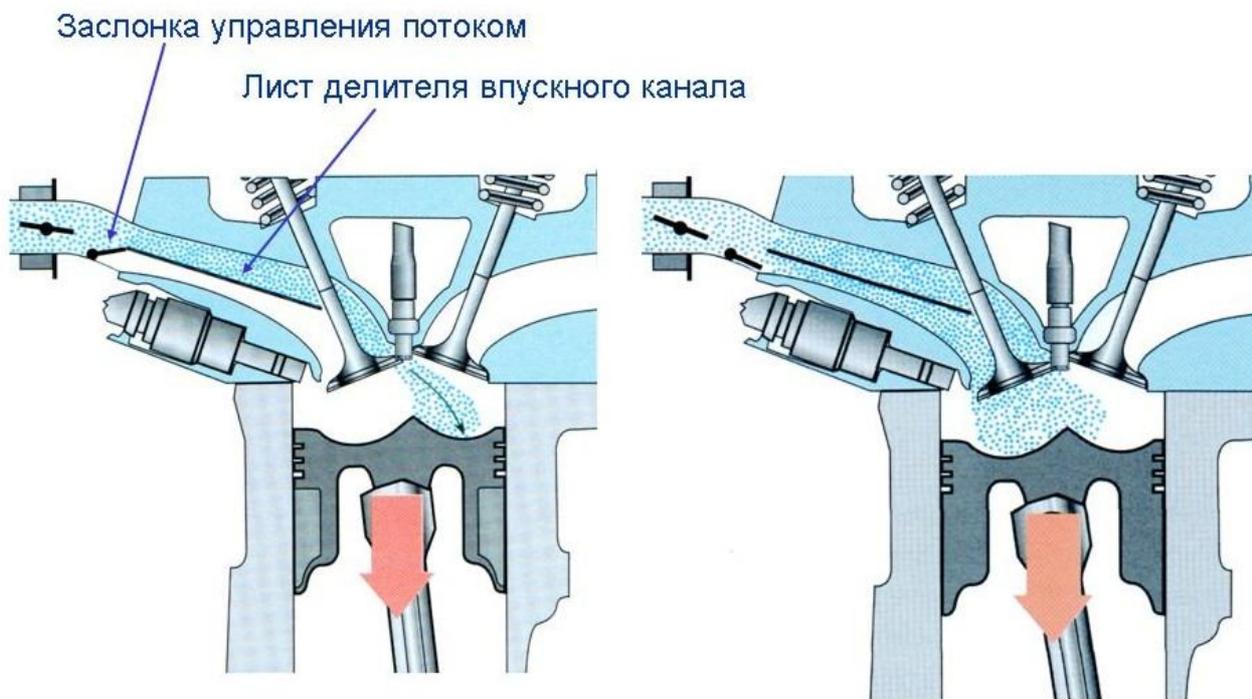


Рис. 13. Способы подачи воздуха в цилиндр двигателя

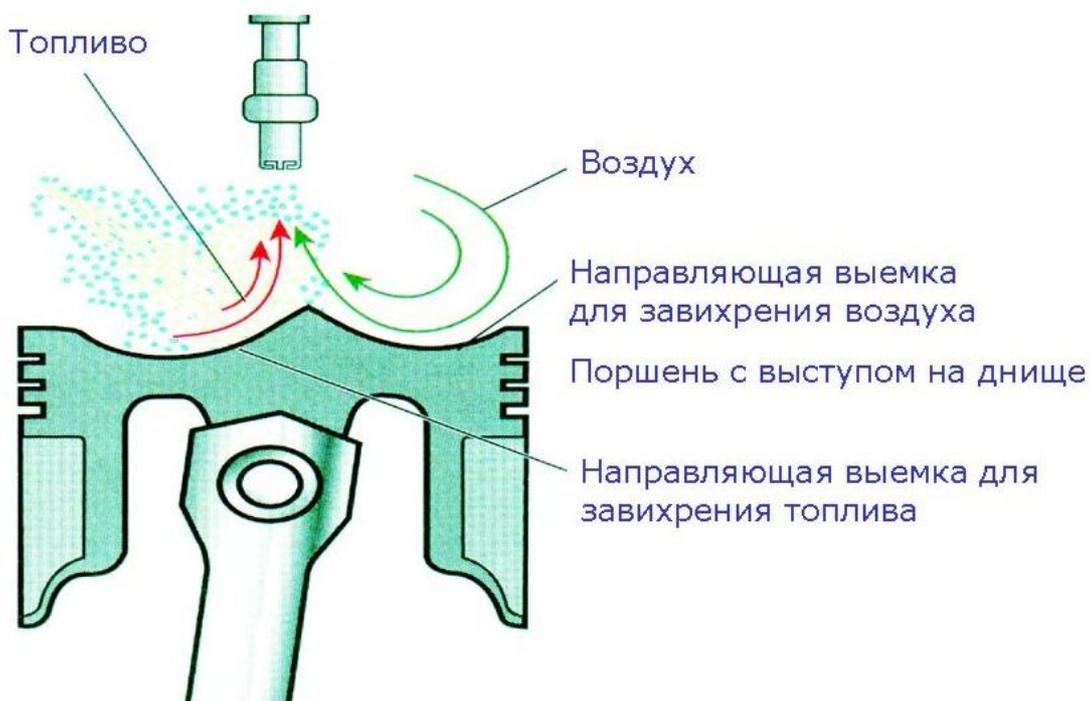


Рис. 14. Схема образования топливоздушной смеси

## 1.4. Режимы работы

Вид распыления топлива и вариант смесеобразования зависят от режима работы мотора (нагрузка, частота вращения, температура рис. 15).

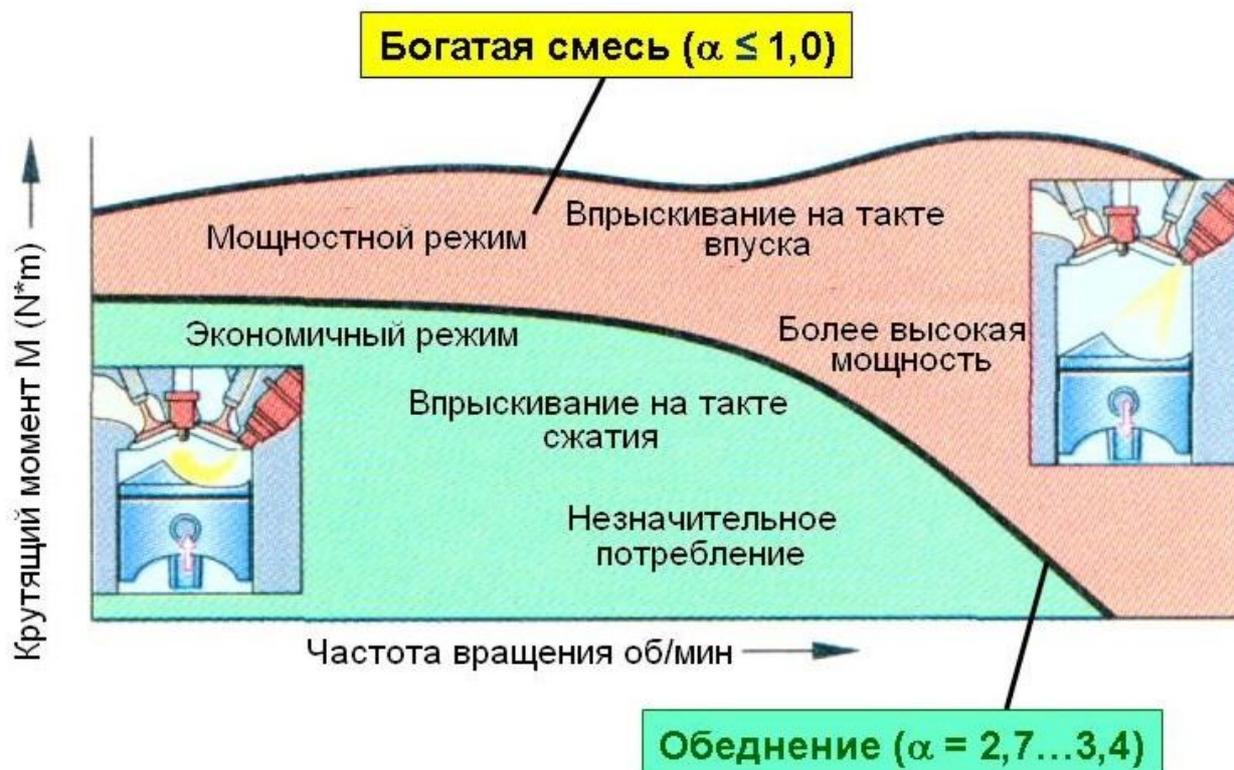


Рис. 15. Зависимость способов смесеобразования от режима работы двигателя

**Работа в экономичном режиме с послойным смесеобразованием ограничена** (зеленая зона на рис. 15).

С возрастанием нагрузки мотор нуждается в обогащении рабочей смеси для получения большей мощности.

При возрастании частоты вращения сокращается время для качественного приготовления горючей смеси, так как возрастающая турбулентность воздушного потока ухудшает устойчивость расслоения горючей смеси.

Послойное смесеобразование характеризуется следующими факторами:

- дроссельная заслонка открывается широко, чтобы по возможности снизить потери на дросселирование;
- воздушная заслонка перекрывает нижний канал и отклоняет струю воздуха так, чтобы воздух в цилиндр входил по касательной к поверхности камеры сгорания и получал движение перпендикулярное оси поршня (рис. 16);
- кувыркающееся вращение воздуха усиливается вогнутой формой днища поршня во время такта сжатия (рис. 17);
- в последней трети хода поршня на такте сжатия происходит впрыск топлива (рис. 18). Топливо подается в направлении выемки в поршне и подхватывается потоком воздуха, отражающимся от второй выемки на днище поршня.

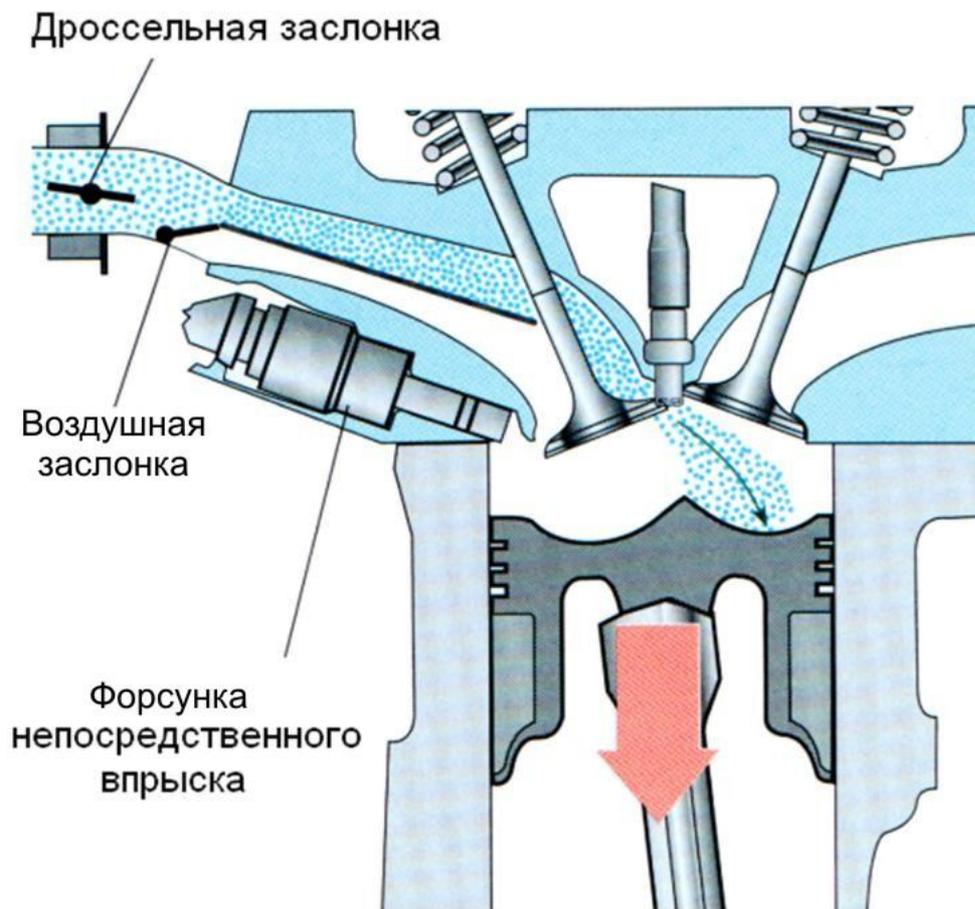


Рис. 16. Движение воздуха в начале впуска при послойном смесеобразовании

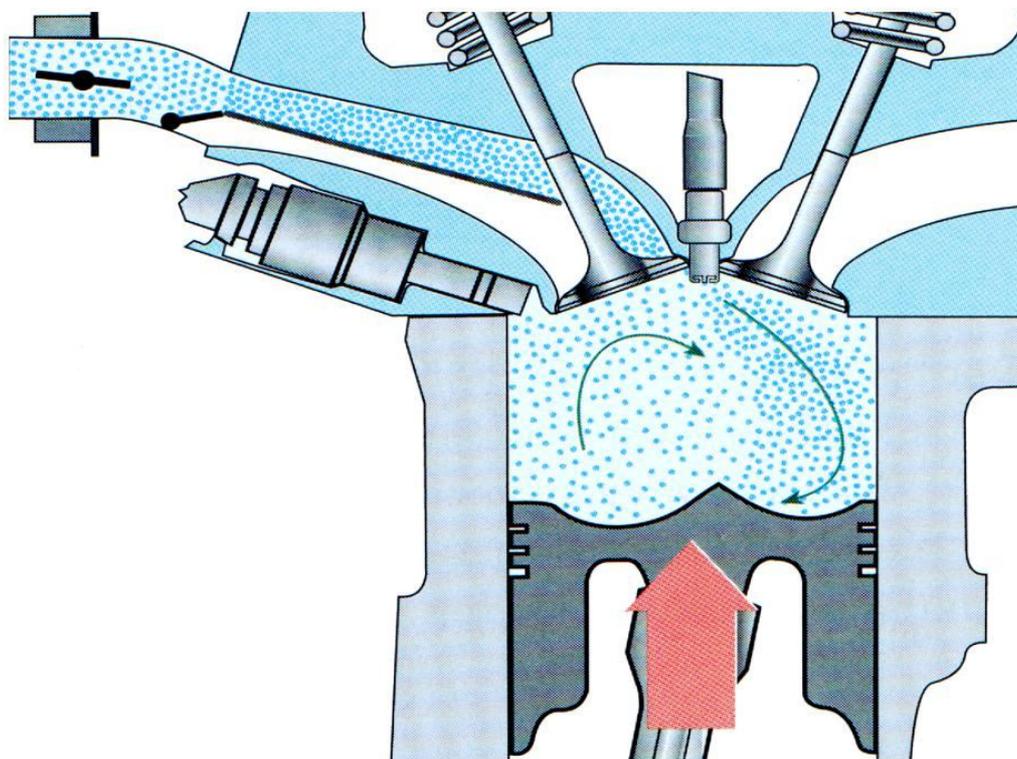
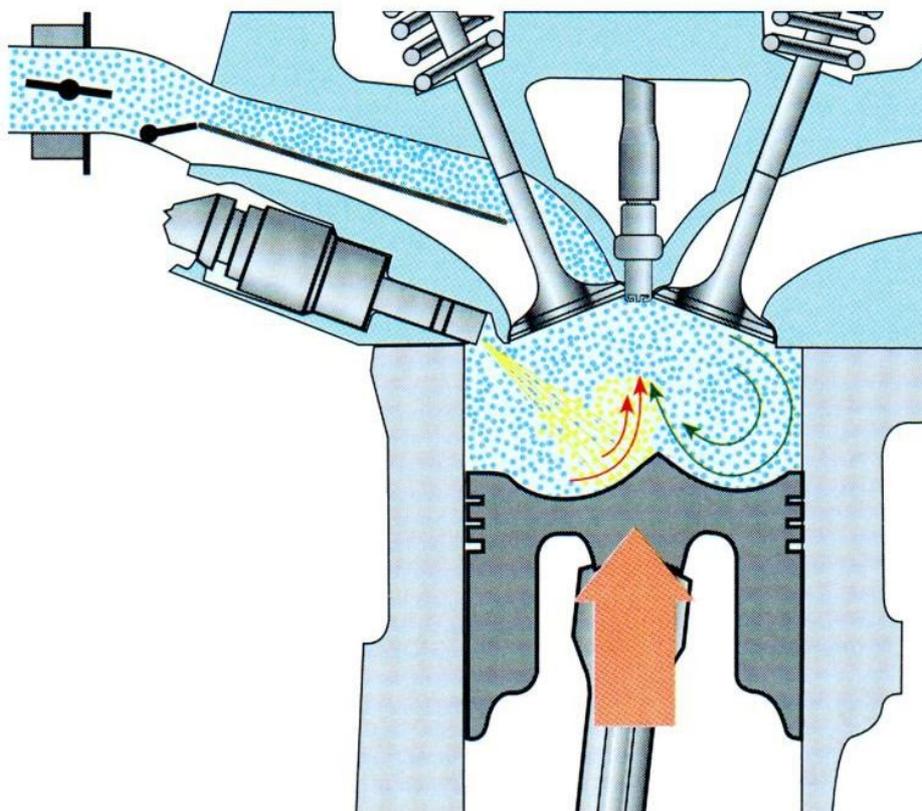


Рис. 17. Движение воздуха во время сжатия при послойном смесеобразовании

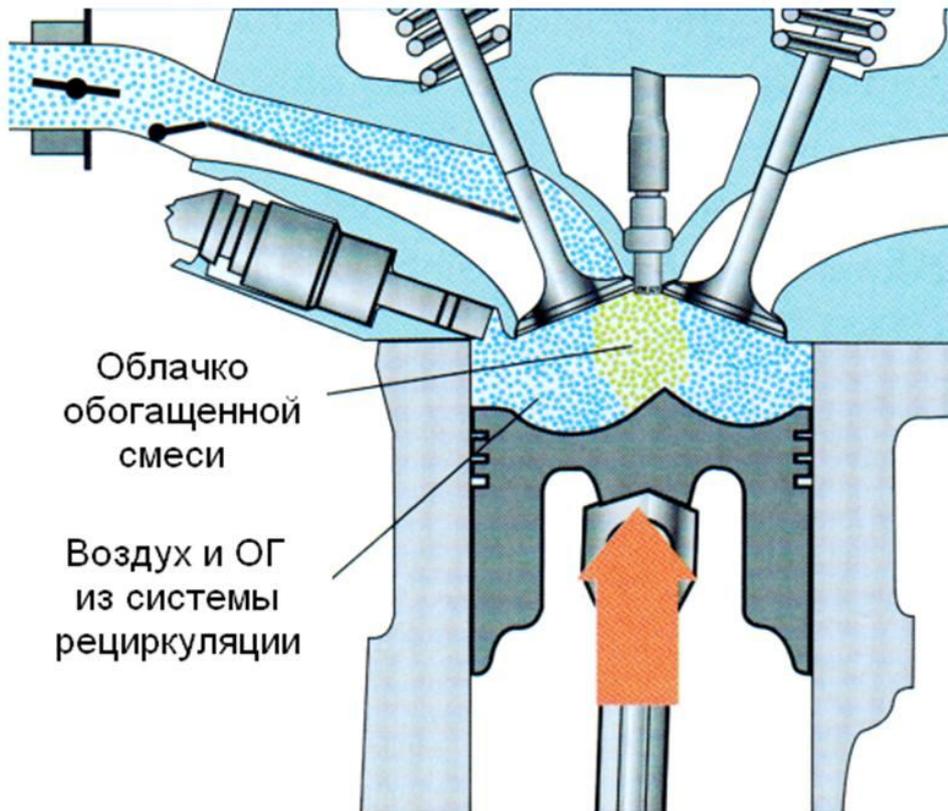


*Рис. 18. Впрыск топлива при послойном смесеобразовании в последней трети хода сжатия*

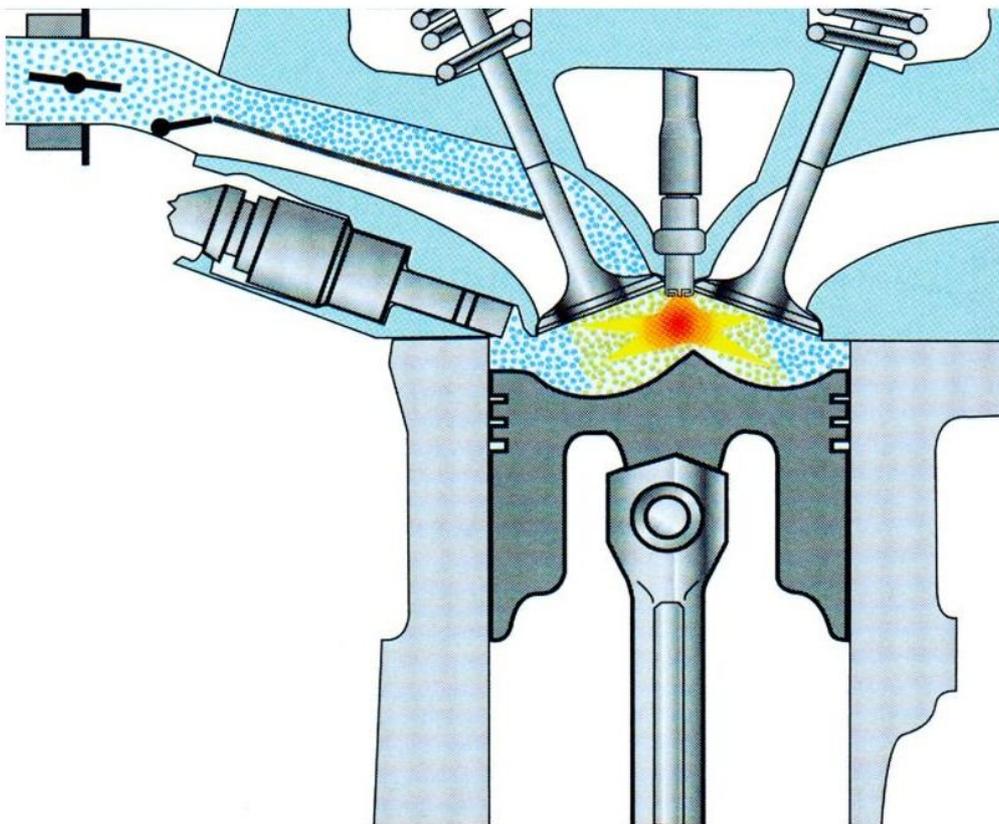
- В районе свечи зажигания формируется облако вполне способной к воспламенению смеси (рис. 19);
- мощность, которую развивает мотор на режиме послойного смесеобразования, определяется только массой впрыснутого топлива и соответственно применяется качественное регулирование мощности аналогично дизельному ДВС;
- после точного позиционирования облака смеси в районе электродов свечи происходит её воспламенение искровым разрядом (рис. 20);
- при этом в процессе горения участвует только сконцентрированное в малом объеме топливо, в то время как остальной заряд действует как изолирующий покров воспламенившейся смеси, уменьшающий потери тепла в стенки камеры сгорания.

Предпосылки для послойного смесеобразования:

- мотор должен находиться на соответствующем рабочем режиме по нагрузке и частоте вращения;
- должны отсутствовать какие-либо неисправности, касающиеся эмиссии выхлопных газов в системе;
- температура охлаждающей жидкости должна составлять более 50 °С;
- воздушная заслонка направления потока должна быть закрыта;
- температура  $\text{NO}_x$  – катализатора должна лежать между 250°С и 500°С.



*Рис. 19. Расслоение топливоздушной смеси к концу такта сжатия при послойном смесеобразовании*



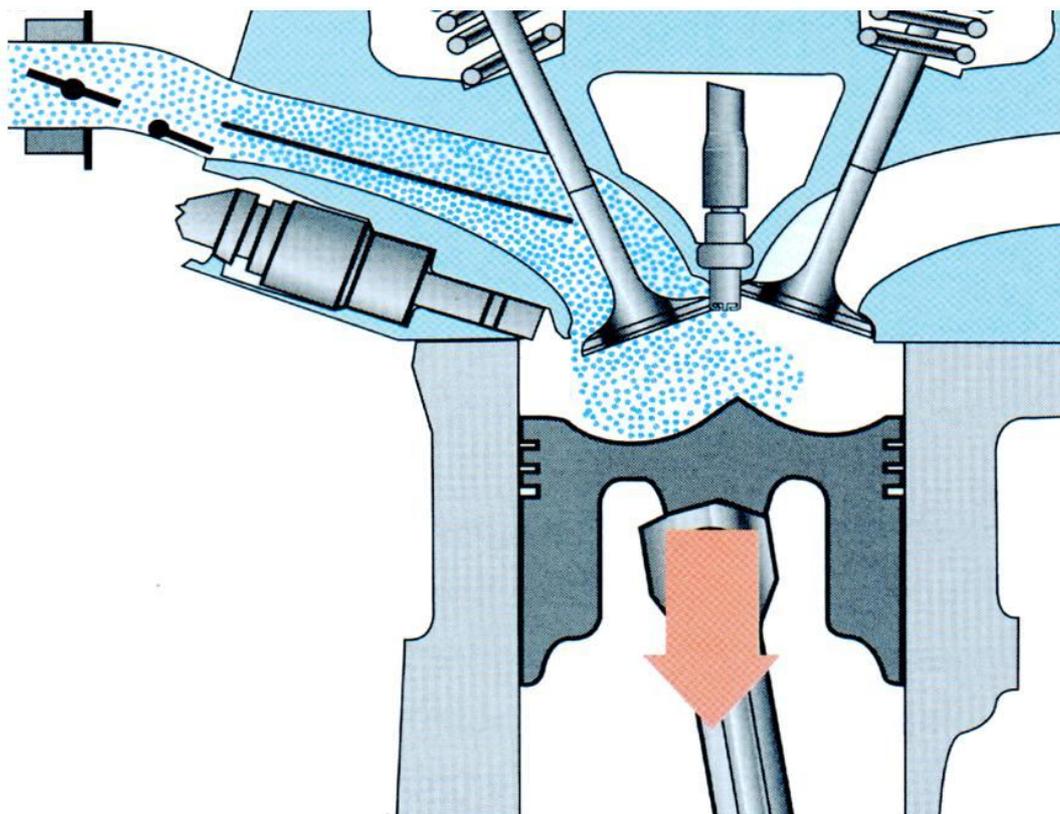
*Рис. 20. Воспламенение и сгорание расслоенного заряда*

## **Гомогенный режим смесеобразования — коричневая зона**

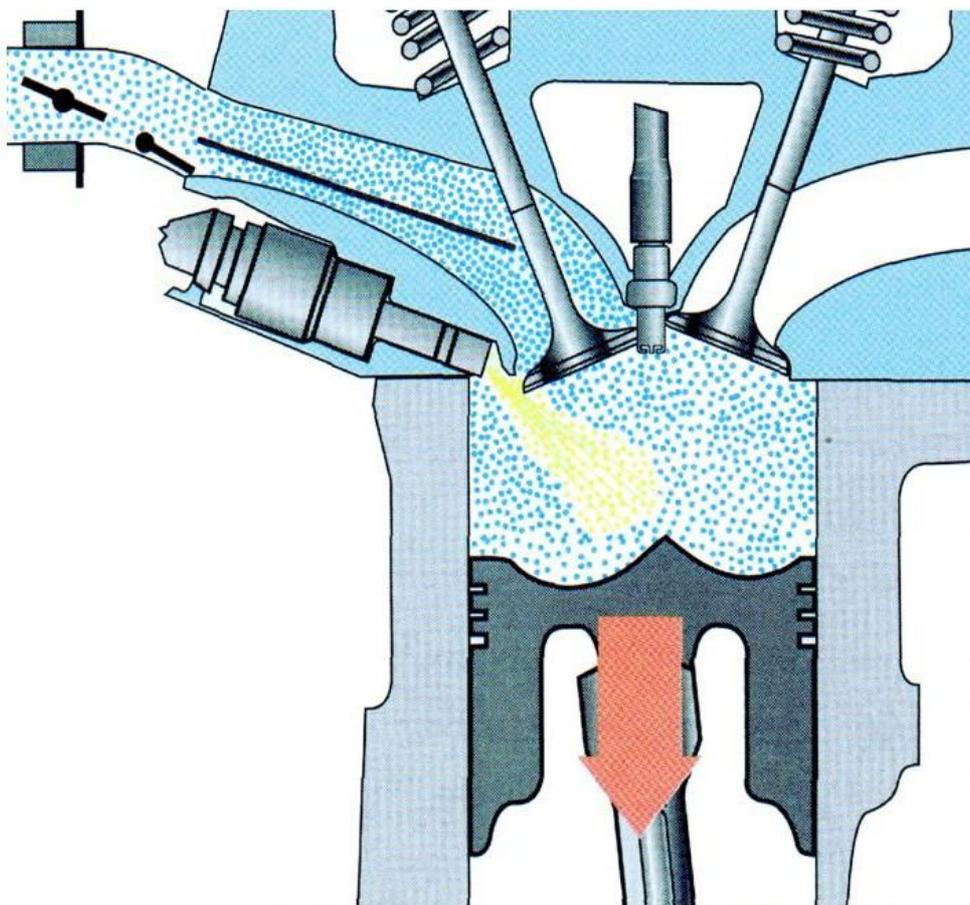
(рис. 15) сходен с процессом образования смеси при распределенном впрыске с той разницей, что топливо вводится прямо в цилиндр (рис. 22).

Этот режим характеризуется следующими факторами:

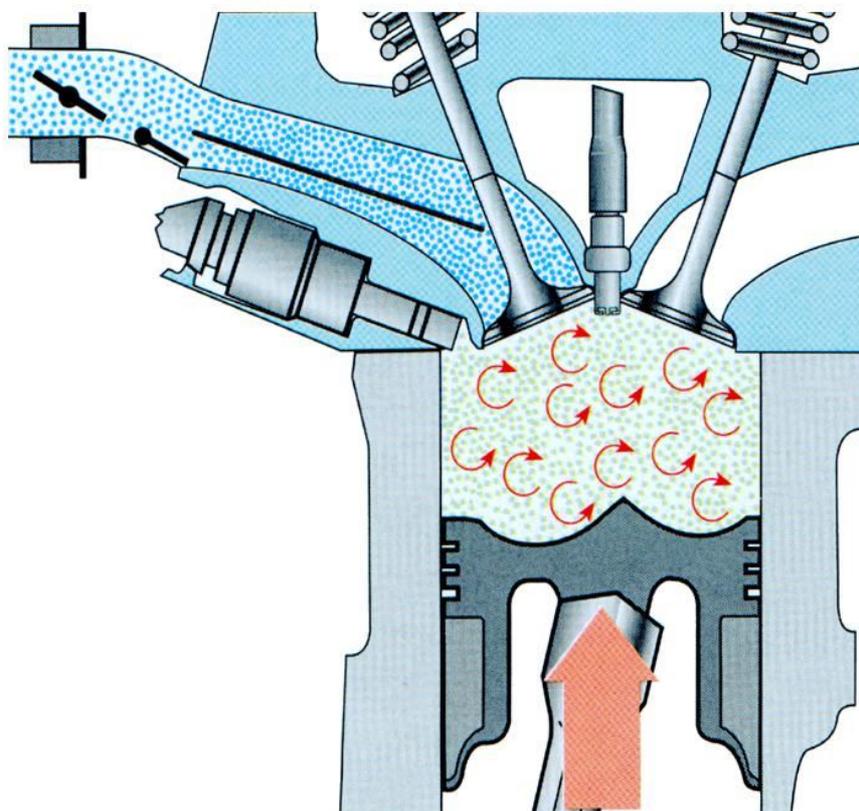
- дроссельная заслонка открывается на угол, соответствующей нажатию на педаль газа;
- с возрастанием нагрузки и скорости вращения нижний впускной канал освобождается для пропуска увеличившегося объема свежего заряда (рис. 22);
- топливо впрыскивается во время такта впуска прямо в цилиндр мотора (рис. 23);
- впрыснутое топливо испаряется прямо в цилиндре. Внутреннее охлаждение сжимаемой смеси, возникающей из-за испарения топлива позволяет увеличить степень сжатия до 11,5 без риска возникновения детонации;
- при впрыске топлива в цилиндр на такте впуска возможно образование гомогенной смеси при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1$  (рис. 24);
- сгорание происходит по всему объему камеры сгорания (рис. 25).



*Рис. 22. Процесс впуска при гомогенном смесеобразовании*



*Рис. 23. Впрыск топлива при гомогенном смесеобразовании*



*Рис. 24. Гомогенная смесь с составом, близким к  $\alpha = 1,0$*

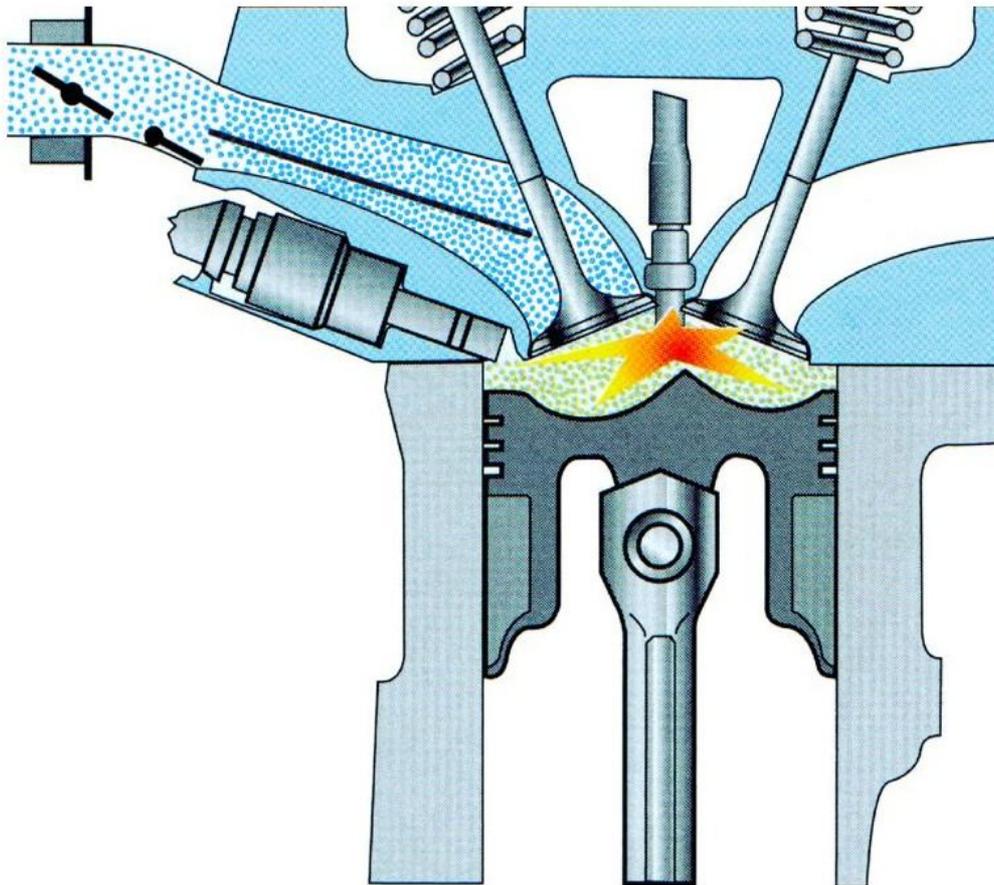


Рис. 25. Воспламенение при гомогенном смесеобразовании

### 1.5. Система выпуска отработавших газов

Общая схема системы выпуска с нейтрализацией вредных компонентов представлена на рис. 26.

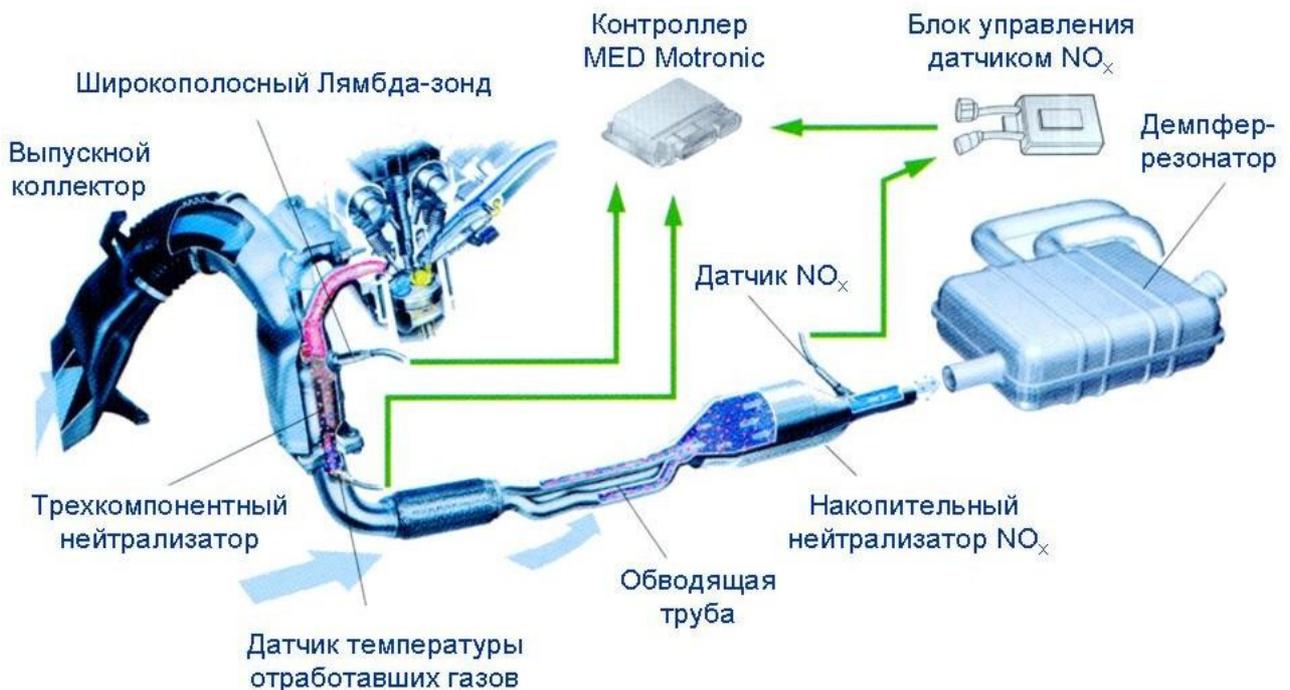
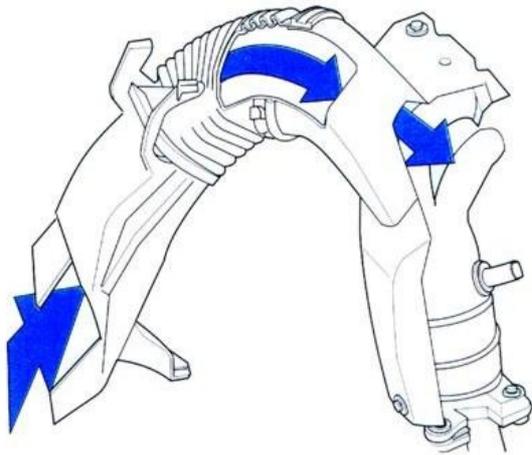


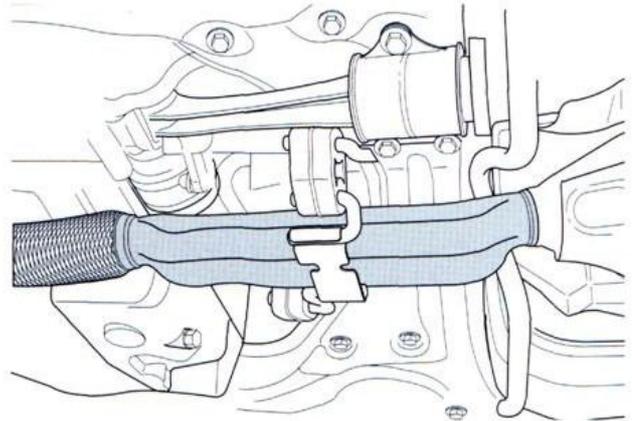
Рис. 26. Система выпуска отработавших газов

Накопительный нейтрализатор  $\text{NO}_x$  может аккумулировать оксиды азота только в диапазоне температур от  $250^\circ\text{C}$  до  $500^\circ\text{C}$ . Чтобы он находился по возможности более часто и долго в этом диапазоне температур, выпускной коллектор охлаждается потоком воздуха (рис. 27).

**Охлаждением выпускного коллектора  
потоком воздуха**

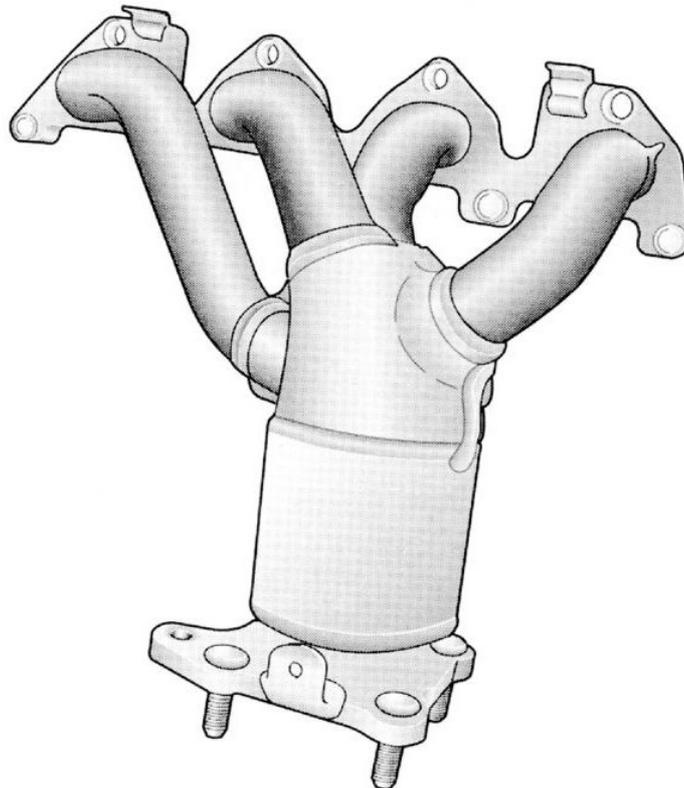


**Увеличением поверхности  
выпускного трубопровода**



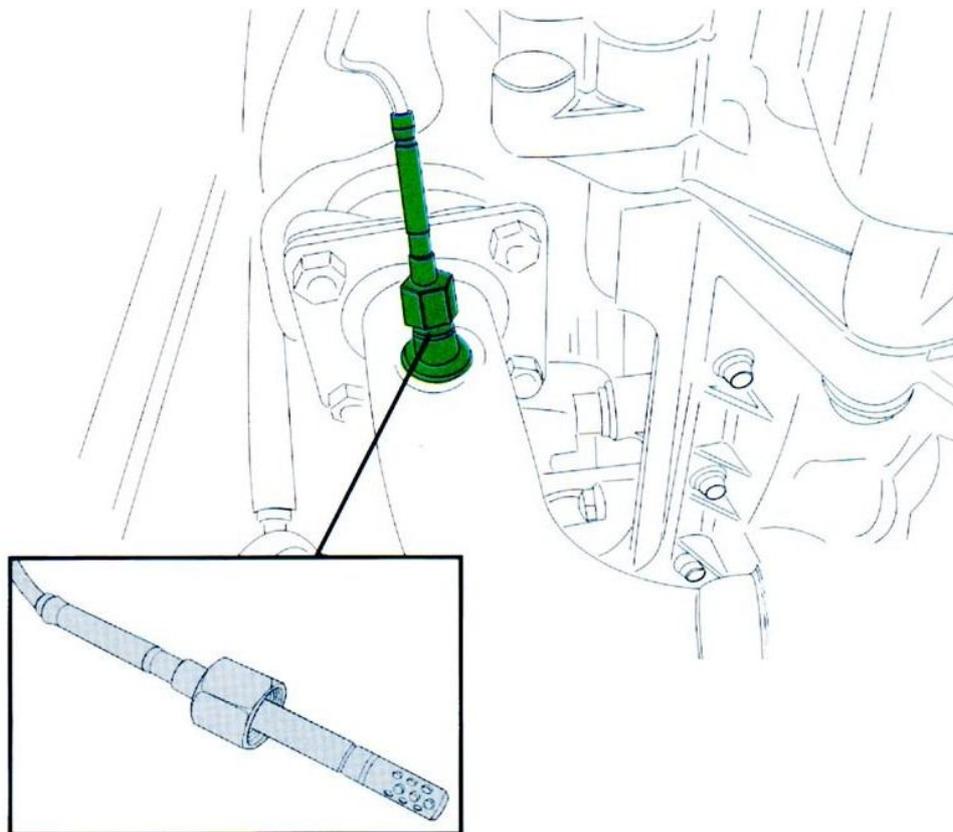
*Рис. 27. Охлаждение отработавших газов*

Пред-нейтрализатор – это трехкомпонентный нейтрализатор окислительно—восстановительного типа. Близкое расположение к мотору позволяет ему очень быстро достичь необходимой температуры и он рано начинает нейтрализацию выхлопных газов (рис.28).



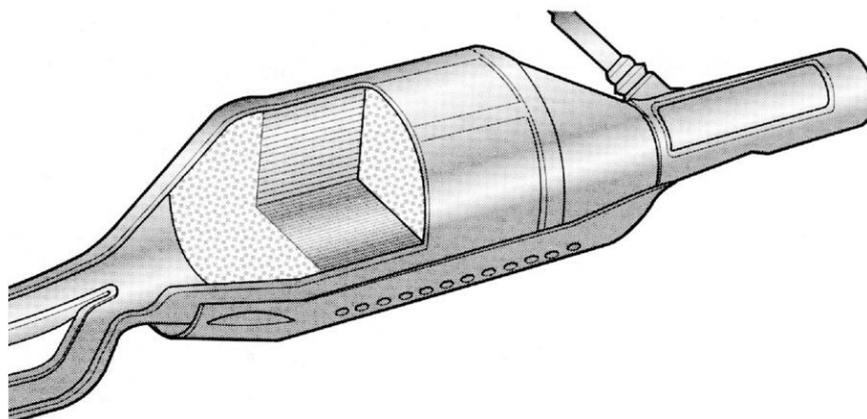
*Рис. 28. Пред-нейтрализатор отработавших газов*

Термодатчик установлен сразу же за пред-нейтрализатором (рис.29). Измерение температуры необходимо для поддержания нейтрализатора  $\text{NO}_x$  накопительного типа в диапазоне рабочих температур. Попавшая вместе с оксидами азота в накопитель сера может быть удалена только путем прожига нейтрализатора при его нагреве до температуры  $650^\circ\text{C}$ .



*Рис. 29. Датчик температуры отработавших газов*

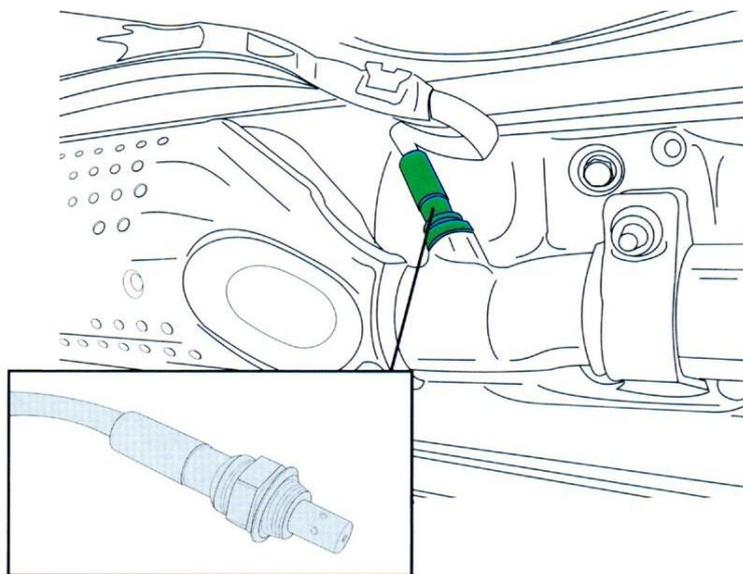
Накопительный  $\text{NO}_x$ — нейтрализатор (рис. 30) применяется в дополнение к трехкомпонентному нейтрализатору. Его основа содержит оксид бария, который при температуре от  $250^\circ\text{C}$  до  $500^\circ\text{C}$  способен преобразовать поступающие в нейтрализатор оксиды азота в нитрат бария.



*Рис. 30. Накопительный  $\text{NO}_x$ — нейтрализатор*

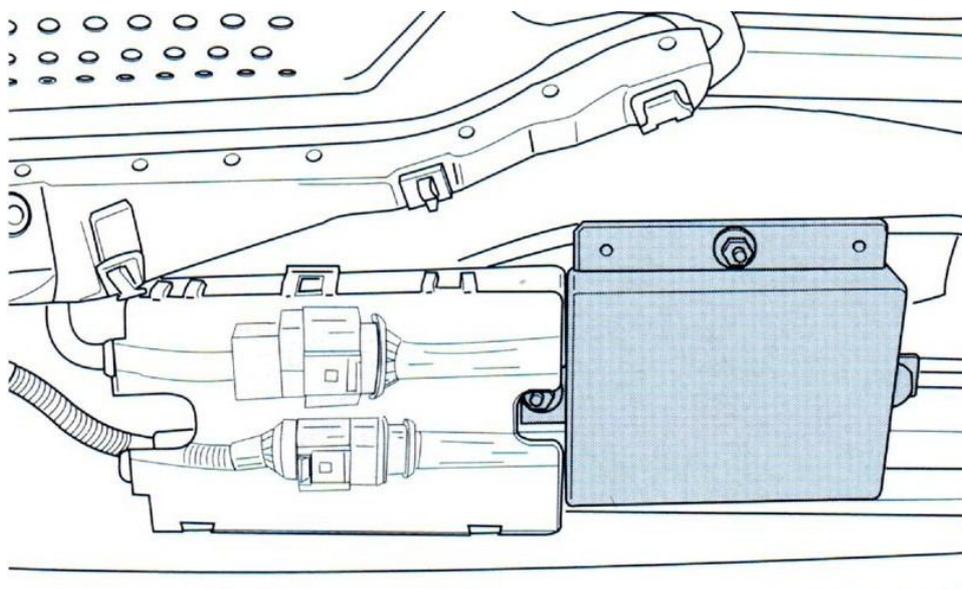
Датчик  $\text{NO}_x$  установлен за накопительным нейтрализатором  $\text{NO}_x$  (рис. 31). Принцип работы датчика  $\text{NO}_x$  схож с принципом работы широкополосного датчика, определяющего содержание кислорода в выхлопных газах. Датчик  $\text{NO}_x$  сигнализирует контроллеру о возможности аккумуляирования оксидов азота в носителе-подложке.

Контроллер опираясь на показания датчика кислорода подгоняет состав смеси так, чтобы накопительный катализатор функционировал.



*Рис. 31. Датчик  $\text{NO}_x$*

Блок управления датчика  $\text{NO}_x$  расположен под полом рядом с датчиком  $\text{NO}_x$  (рис. 32). Блок управления преобразует сигнал от датчика  $\text{NO}_x$  в цифровую форму и посылает сигнал контроллеру управления мотором о содержании оксидов азота в выхлопных газах, выходящих из нейтрализатора накопительного типа. Близкая установка прибора управления к датчику  $\text{NO}_x$  — необходима для предотвращения электромагнитных помех.



*Рис. 32. Блок управления датчика  $\text{NO}_x$*

## 1.6. Система GDI (рис. 33)

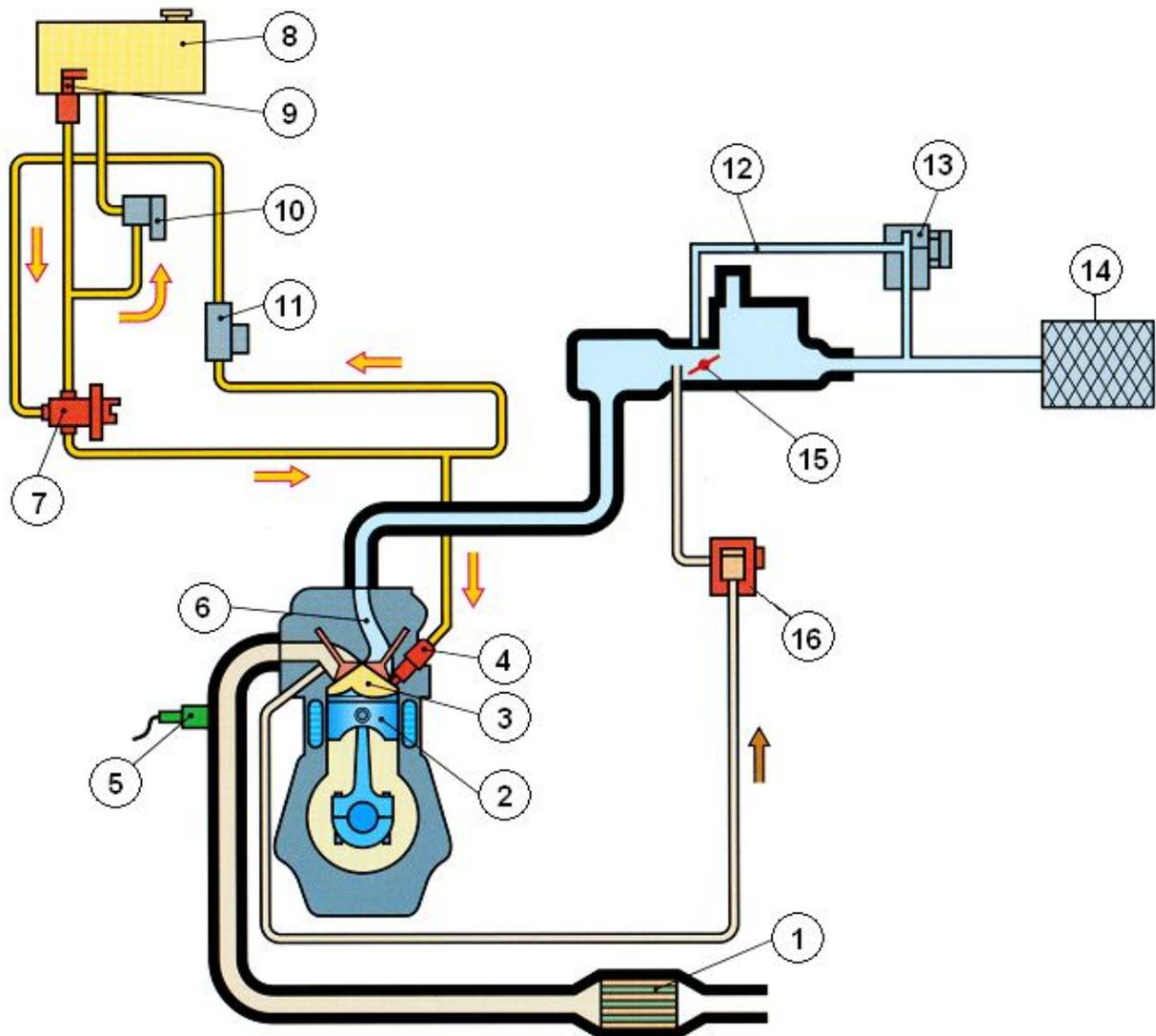


Рис. 33. Система питания GDI:

1 — нейтрализатор; 2 — поршень; 3 — камера сгорания; 4 — форсунка высокого давления; 5 — лямбда-зонд; 6 — впускной трубопровод; 7 — насос высокого давления топлива; 8 — топливный бак; 9 — топливоподкачивающий насос; 10 — регулятор топливоподачи линии низкого давления; 11 — регулятор топливоподачи линии высокого давления; 12 — байпасный канал; 13 — клапан подачи дополнительного воздуха; 14 — воздушный фильтр; 15 — дроссельная заслонка; 16 — клапан EGR