

УДК 629.331(075)

**СИСТЕМА НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ВПРЫСКА ТОПЛИВА  
И ЕЕ НЕДОСТАТКИ В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ****О.Д. ПЛЮЩЕНКО, П.В. ЮШКЕВИЧ**  
(Представлено: В.В. КОСТРИЦКИЙ)

*Рассмотрены устройство и недостатки системы с непосредственным впрыском бензинового двигателя.*

**Введение.** Система непосредственного впрыска топлива является самой современной системой впрыска топлива бензиновых двигателей. Работа системы основана на впрыске топлива непосредственно в камеру сгорания двигателя.

Впервые система непосредственного впрыска была применена на двигателе GDI (GasolineDirectInjection – непосредственный впрыск бензина), устанавливаемом на автомобили компании Mitsubishi. В настоящее время система непосредственного впрыска используется в двигателях многих автопроизводителей. Передовики Audi (двигатели TFSI) и Volkswagen (двигатели FSI, TSI), которые практически полностью перешли на бензиновые двигатели с непосредственным впрыском.

Двигатели с непосредственным впрыском имеют в своем активе BMW (двигатели N54, N63), Infiniti (двигатели M56), Ford (двигатели EcoBoost), GeneralMotors (двигатели Ecotec), Hyundai (двигатели Theta), Mazda (двигатели Skyactiv), Mercedes-Benz (двигатели CGI).

Применение системы непосредственного впрыска позволяет достичь до 15% экономии топлива, а также сокращения выброса вредных веществ с отработавшими газами.

**Устройство системы непосредственного впрыска топлива.** Конструкция системы непосредственного впрыска топлива рассмотрена на примере системы, устанавливаемой на двигатели FSI (FuelStratifiedInjection – послойный впрыск топлива). Система непосредственного впрыска составляет контур высокого давления топливной системы двигателя и включает топливный насос высокого давления, регулятор давления топлива, топливную рампу, предохранительный клапан, датчик высокого давления и форсунки впрыска.

Данная система включает в себя:

1. топливный бак;
2. топливный насос;
3. топливный фильтр;
4. перепускной клапан;
5. регулятор давления топлива;
6. топливный насос высокого давления;
7. трубопровод высокого давления;
8. распределительный трубопровод;
9. датчик высокого давления;
10. предохранительный клапан;
11. форсунки впрыска;
12. адсорбер;
13. электромагнитный запорный клапан продувки адсорбера.

**Принцип действия системы непосредственного впрыска.** Система непосредственного впрыска в результате работы обеспечивает несколько видов смесеобразования:

- послойное;
- стехиометрическое гомогенное;
- гомогенное.

Многообразие в смесеобразовании определяет высокую эффективность использования топлива (экономия, качество образования смеси, ее полное сгорание, увеличение мощности, уменьшение вредных выбросов) на всех режимах работы двигателя.

Послойное смесеобразование используется при работе двигателя на малых и средних оборотах и нагрузках. Стехиометрическое (другое наименование – легковоспламеняемое) гомогенное (другое наименование – однородное) смесеобразование применяется при высоких оборотах двигателя и больших нагрузках. На бедной гомогенной смеси двигатель работает в промежуточных режимах.

При послойном смесеобразовании дроссельная заслонка почти полностью открыта, впускные заслонки закрыты. Воздух поступает в камеры сгорания с большой скоростью, с образованием воздушного вихря. Впрыск топлива производится в зону свечи зажигания в конце такта сжатия. За непродолжи-

тельное время до воспламенения в районе свечи зажигания образуется топливно-воздушная смесь с коэффициентом избытка воздуха от 1,5 до 3. При воспламенении смеси вокруг нее остается достаточно много чистого воздуха, выступающего в роли теплоизолятора. Гомогенное стехиометрическое смесеобразование происходит при открытых впускных заслонках, дроссельная заслонка при этом открывается в соответствии с положением педали газа. Впрыск топлива производится на такте впуска, что способствует образованию однородной смеси. Коэффициент избытка воздуха составляет 1. Смесь воспламеняется и эффективно сгорает во всем объеме камеры сгорания.

Бедная гомогенная смесь образуется при максимально открытой дроссельной заслонке и закрытыми впускными заслонками. При этом создается интенсивное движение воздуха в цилиндрах. Впрыск топлива производится на такте впуска. Коэффициент избытка воздуха поддерживается системой управления двигателем на уровне 1,5. При необходимости в состав смеси добавляются отработавшие газы из выпускной системы, содержание которых может достигать до 25%.

**Недостатки системы питания с непосредственным впрыском.** Собственно о минусах подобной системы питания было известно с самого начала. Сложность и высокая стоимость сюрпризом не были – опыт внедрения непосредственного впрыска накопился изрядный. Надежность сложных систем честно постарались увеличить. Правда, цену особенно опустить не пытались.

Как известно, для подачи топлива непосредственно в цилиндры нужен насос высокого давления. Вообще-то и в системах «обычного» распределенного впрыска в системе питания давление немаленькое, но у прямого впрыска оно примерно в 10 раз больше.

На дизельных моторах непосредственный впрыск и ТНВД появился существенно раньше, и ресурс узлов был не таким уж низким. У бензиновых все получилось иначе: насосы оказались весьма недолговечными. Потому что дизтопливо имеет более высокие смазочные свойства, чем бензин, и без специальных смазывающих присадок ресурс всех узлов трения очень мал.

Современные мембранные ТНВД не так зависят от смазки, как поршневые, но, тем не менее, нуждаются в ней. Да и в целом насос высокого давления – штука довольно хрупкая, любые загрязнения выведут его из строя. Улучшить ситуацию смогли введением стандарта на смазывающие присадки в топливо. Конечно, 15% масла, как в двухтактные моторы, добавлять не стали, но топливо Евро-4 и выше обязательно содержит небольшое количество специальных смазок. Не в последнюю очередь – именно для ТНВД на бензиновых машинах.



Рисунок 1. – ТНВД на бензиновых машинах

С форсунками ситуация аналогичная, они дороже и менее надежны, чем на системах распределенного впрыска. Требования к их работе тоже намного выше. Небольшое изменение факела распыла, даже без изменения общего расхода подачи, ведет к серьезным нарушениям работы мотора. В результате для сохранения работоспособности резко растут требования по чистоте топлива и рабочей температуре.

Пьезофорсунки еще и имеют ограниченное количество циклов срабатывания, чувствительны к перегреву, а также обладают склонностью при выходе из строя «лить» бензин, что может вызвать гидроудар при запуске. Особенно это характерно для очень распространенных «высокоточных» пьезофорсунок Bosch, которые имеют ограниченный ресурс, а компания на протяжении последних десяти лет не может создать действительно хорошо работающий вариант.

Склонность к закоксовке впускных клапанов и худшие условия их работы проявились на моторах Мицубиси довольно быстро. Обычно форсунки подают бензин на впускной клапан и охлаждают его. И заодно смывают с него отложения. У «непосредственного» мотора такой возможности нет, клапан греется сильнее, больше нагревает воздух, а масло из системы вентиляции картера и из сальника клапана

постепенно образует «шубу», которая затрудняет газообмен и приводит к зависанию клапанов и его перегреву. Особенно тяжело приходится моторам с повышенным расходом масла, а в самой критической группе риска – моторы, которые часто работают с малой нагрузкой, то есть в пробках.

Плохие пусковые качества из-за неудовлетворительного испарения топлива при пуске тоже проявились давно. Оказалось, что оптимизация формы факела впрыска на холодном и горячем моторе должна производиться более тщательно. Любое попадание топлива на стенки цилиндра приводит к резкому увеличению количества несгоревшего топлива и попаданию его в масло. А при запуске при отрицательных температурах большое значение приобретает качество распыла бензина: оно должно оказаться намного выше, чем при обычной работе, и давление топлива на пуске должно быть очень высоким. Поначалу этого не учли.

Попадание топлива в масло из-за неисправностей топливного насоса высокого давления – в общем-то чисто конструктивный недостаток насосов Bosch, но в силу их широкого распространения и общности конструкций насосов свойственен почти всем моторам с непосредственным впрыском. Бензин в масле не так уж и страшен, но в больших количествах ведет к снижению вязкости масла до критической, что приводит к повреждениям моторов.

Почти у всех проблем есть пути решения. Например, двойной впрыск, когда топливо подается и в цилиндры, и во впускной трубопровод – это справляется сразу со сложностью с закоксовкой клапанов, экологичностью и плохим запуском в холода. Такая схема применялась на некоторых двигателях Volkswagen EA888, но продавались они исключительно в США и были заточены под жесткие экологические нормы Калифорнии. Но в конце 2014-го комбинированный впрыск появился и у нас – на моторе 6AR-FE (2 литра, 150 л. с.) Toyota Camry последнего поколения. Пока сложно судить о надежности, ибо пробеги машин пока небольшие в основной массе, однако предпосылки хорошие.



Рисунок 2. – Под капотом Toyota Camry XLE 2015 г.в.

С поршневыми кольцами и топливными насосами приходится разбираться чисто конструктивными методами, экспериментируя с формой – часто «дизайн» поршневой группы производители дорабатывают уже после того, как машина вышла на рынок и поразила всех угаром масла. Так, скажем, делала Toyota в 2005 году, доводя до ума моторы серии ZZ (еще без непосредственно впрыска), а позже – Volkswagen с уже упомянутыми выше EA888. Насосы высокого давления тоже стараются сделать надежнее – эта задача технически выполнима.

**Заключение.** Система очень сложная и дорогая – накладным для производителей выходит не только себестоимость конечной продукции, но и исследования с экспериментами. А маркетологи не дают возможности по 10 лет заниматься испытаниями, требуют все более новых моторов с еще более привлекательными характеристиками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко, О.Л. Электронные системы автомобилей : учеб. пособие / О.Л. Коваленко ; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : ИПЦ САФУ, 2013. – 80 с.
2. Режим доступа: <http://chiptuner.ru/content/sensor/>. – Дата доступа: 01.05.2016.
3. Режим доступа: [http://injectorservice.com.ua/docs/temperature\\_sensor\\_diagnostics.pdf](http://injectorservice.com.ua/docs/temperature_sensor_diagnostics.pdf). – Дата доступа: 01.05.2016.