

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*А. С. Климук, Н. С. Янкевич, ИМИНМАШ НАНБ;
А. В. Одинцов, В. М. Шаппо, ОАО «МОТОВЕЛО»*

При сохранении карбюраторной системы питания двухтактный двигатель проигрывает четырехтактному в экономичности и токсичности выбросов. Улучшить эти показатели для двухтактного двигателя можно, применив систему впрыска топлива. В этом случае сохраняется более простая и технологичная конструкция двухтактного двигателя. Применение системы впрыска вместо карбюратора позволяет устранить ряд недостатков, присущих мотоциклетным карбюраторам.

НАН Беларуси совместно с ОАО «Мотовело» работают над совершенствованием конструкции двухтактных мотоциклетных двигателей дорожных мотоциклов, к которым предъявляются все более жесткие требования по экономичности, токсичности отработавших газов, а также надежности и стабильности эксплуатационных характеристик.

Two-stroke engine is known as inferior to four-stroke one in terms of fuel consumption and pollution performance, so long as it features carburetor system. As far as is two-stroke engine concerned, both fuel efficiency and pollution performance may be improved through the use of fuel injection system. This enables improvement in performance of two-stroke engine, retaining its simple and production-friendly construction. Replacement of carburetor with fuel injection system allows to cope with a number of problems inherent in motorcycle carburetors.

NAS of the Republic of Belarus in cooperation with JSC MOTOVELO is working on the improvement of two-stroke motorcycle engines, to meet ever increasing requirements to fuel efficiency, exhaust toxicity, reliability, and stability of operating characteristics

Решение вопроса снижения расхода топлива и уменьшения вредных выбросов является отправной точкой создания и применения систем прямого впрыска для бензиновых двигателей внутреннего сгорания. Попытки создания систем непосредственного впрыска известны очень давно. Начиная с 1937 г. авиационные моторы оснащались аппаратурой прямого впрыска фирмы BOSCH. Следующим знаменательным событием в истории развития упомянутых систем было серийное оснащение системой впрыска двухтактного двигателя легкового автомобиля «Гутброд» в 1952 г. и четырехтактного двигателя Мерседес-Бенц 300SL в 1960 г. При этом наиболее весомым основанием для применения систем впрыска являлось улучшение мощностных показателей.

Давно известные возможности систем прямого впрыска по экономии топлива долгое время не находили применения в серийной продукции. Трудности возникали в области регулировки процесса смесеобразования для достижения приемлемого уровня выбросов вредных веществ.

Благодаря прогрессу в области систем управления двигателями и появлению трехмаршрутных катализаторов препятствия широкому применению систем прямого впрыска исчезли. Более того, будущий прогресс и совершенствование двигателей внутреннего сгорания (ДВС) напрямую зависит от совершенствования систем впрыска топлива.

НАН Беларуси совместно с ОАО «Мотовело» работают над совершенствованием конструкции двухтактных мотоциклетных двигателей дорожных мотоциклов. К ним в настоящее время предъявляются все более жесткие требования по экономичности, токсичности отработавших газов, а также надежности и стабильности эксплуатационных характеристик. Эти требования обуславливают необходимость совершенствования всех элементов конструкции мотоцикла, в том числе и системы питания.

При сохранении карбюраторной системы питания двухтактный двигатель проигрывает четырех-

тактному в экономичности и токсичности выбросов. Получить эти показатели более выгодными для двухтактного двигателя можно, применяя систему впрыска топлива. В этом случае сохраняется более простая и технологичная конструкция двухтактного двигателя. Применение системы впрыска вместо карбюратора позволяет устранить ряд недостатков, присущих мотоциклетным карбюраторам:

- невозможность получения оптимального соотношения воздух/топливо на различных режимах работы двигателя;
- большая чувствительность к изменению условий окружающей среды;
- снижение мощности в высокогорных условиях;
- негерметичность топливного клапана вследствие вибрации двигателя и нестабильный уровень топлива в поплавковой камере;
- ограничения возможностей управления эмиссией вредных веществ в отработавших газах.

Решение вопроса снижения расхода топлива и уменьшения вредных выбросов является отправной точкой создания и применения систем прямого впрыска для бензиновых ДВС.

Предлагаемый подход к решению вопроса имеет ряд особенностей.

В области низких нагрузок двигатель работает со слабым дросселированием, т. е. с таким количеством воздуха, чтобы достичь минимально возможного расхода топлива. В таком режиме используется поздний впрыск топлива с тем, чтобы получить в камере сгорания две зоны: 1) легковоспламеняющуюся топливо-воздушную смесь у свечи зажигания; 2) сильно обедненную смесь в остальной части.

Таким образом, снижаются помповые потери двигателя. Кроме того, улучшается термодинамический КПД за счет снижения тепловых потерь через стенки камеры сгорания.

Практически за счет снижения потерь при прямом впрыске со слабым дросселированием ожидается экономия топлива до 20% по сравнению со впрыском во впускной трубопровод. При необходимости снижения выбросов NO_x может быть дополнительно применена система рециркуляции отработавших газов.

При повышении нагрузки мотора и, соответственно, увеличении порции впрыска горячая смесь обогащается и содержание вредных веществ в отработавших газах увеличивается. В этой верхней области нагрузок мотор требует однородной горючей смеси. Впрыск топлива должен осуществляться на такте всасывания для достижения хорошего перемешивания топлива и воздуха. Строго говоря, необходимый крутящий момент в системе

непосредственного впрыска задается по желанию водителя дросселированием входного воздуха, т. е. как и в традиционных системах питания. Необходимая дозировка топлива рассчитывается управляющим компьютером исходя из количества воздуха и может корректироваться по сигналам λ -зонда.

Для обеспечения работы двигателя на двух упомянутых выше режимах нужно обеспечить выполнение двух основополагающих требований к системам управления двигателями:

- момент впрыска топлива должен устанавливаться как поздним (т. е. непосредственно перед подачей искры), так и ранним (на фазе впуска);
- управление количеством всасываемого воздуха не может осуществляться непосредственно от педали водителя, чтобы получить послонную смесь на частичных нагрузках и гомотенную — на полных.

Важнейшим установочным параметром для системы впрыска является развиваемый двигателем крутящий момент. Структура управления системы связывает три функциональные области:

- требуемый момент;
- координацию момента;
- установленный момент.

Приоритетной командой по крутящему моменту является команда водителя, определяемая по положению педали акселератора. Последняя интерпретируется системой управления как требование определенного крутящего момента от ДВС. Другие параметры регулирования крутящего момента зависят от коробки передач и некоторых других агрегатов (кондиционер и другие мощные потребители электроэнергии).

Электронный блок управления должен согласовывать различные команды относительно крутящего момента с тем, чтобы двигатель мог воспринять требуемую от него нагрузку. Такой подход к решению вопроса имеет ряд преимуществ:

- централизованную координацию требований по крутящему моменту;
- отпадает необходимость во внутренних связях между датчиками крутящего момента;
- исчезает взаимоисключающее влияние датчиков крутящего момента;
- простое расширение и сужение факторов управления и выполняемых функций.

Определенный электроникой момент реализуется благодаря выходным командам блока управления, определяющим количество воздуха, топлива и угла опережения зажигания.

При послонном смесеобразовании характеристика развиваемого крутящего момента почти пропорциональна впрыскиваемой дозе топлива. Коэффициент наполнения воздухом и угол опережения

зажигания едва ли оказывает влияние на крутящий момент.

При гомогенной смеси эффективное управление двигателем может осуществляться изменением топливо-воздушного состава смеси. Кроме того, быстрое снижение крутящего момента может осуществляться за счет уменьшения угла опережения зажигания. При переходе между гомогенной смесью и слоистой компьютер должен поддерживать точное соотношение между дозировкой топлива, воздуха и угла опережения зажигания, которое позволяет поддерживать стабильный крутящий момент.

Существенные трудности управления двигателем посредством прямого впрыска бензина состоят в том, что при большом коэффициенте избытка воздуха (бедной смеси) образуется значительное количество NO_x , снижение которых даже в трехкомпонентном катализаторе проблематично. Частично эта проблема может решаться за счет катализатора-накопителя. В нем NO_x , благодаря избытку в бедной смеси кислорода, окисляется на поверхности в виде нитратов. Однако через некоторое время такой катализатор-накопитель приходится регенерировать.

Принципиальная схема системы непосредственного впрыска показана на рис. 1. Алгоритм работы системы непосредственного впрыска следующий.

Находящееся в баке топливо засасывается находящимся внутри насосом и подается через топливный фильтр во входную магистраль насоса высокого давления. Последний связан с накопителем топлива (аккумулятором), который имеет заданную жесткость корпуса для обеспечения давления в течение некоторого времени после останова двигателя. На выходе накопителя находится электромагнитный клапан управления давлением, собственно датчик давления и топливоподающая магистраль, связывающая накопитель с форсункой. Последняя установлена непосредственно на головке цилиндра двигателя и имеет электромагнитное управление процессом подачи топлива.

Количество впрыскиваемой дозы топлива, момент впрыска, а также угол опережения зажигания рассчитывается электронным блоком управления на основе сигналов следующих датчиков:

- угла положения дроссельной заслонки;
- температуры двигателя;
- температуры воздуха;
- атмосферного давления;
- давления во внутреннем патрубке.

Пожелание водителя определяется углом положения дроссельной заслонки и скоростью изменения этого угла.

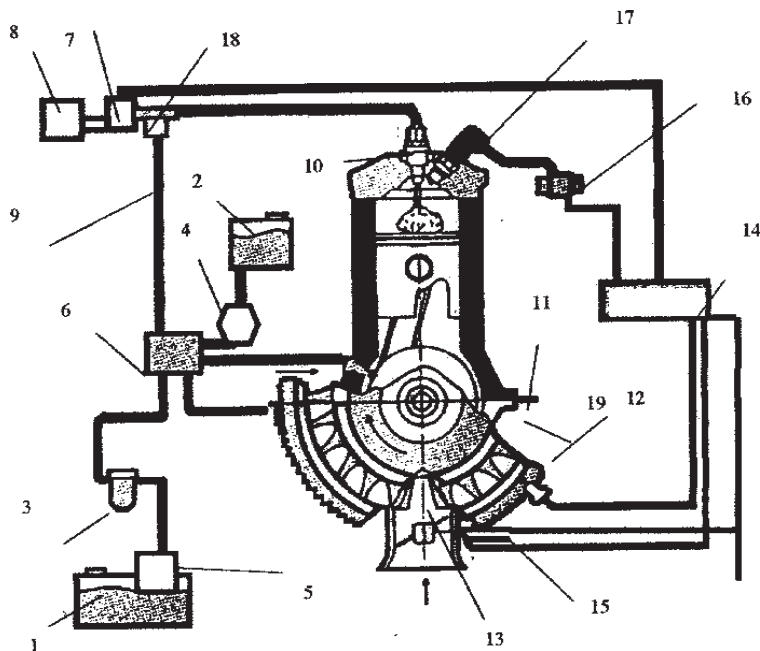


Рис. 1. Блок-схема системы непосредственного впрыска:

1 — топливный бак; 2 — масляный бак; 3 — топливный фильтр; 4 — масляный фильтр; 5 — предварительный топливный насос; 6 — масляный насос; 7 — топливный насос высокого давления; 8 — датчик давления топлива; 9 — клапан регулировки давления; 10 — форсунка; 11 — датчик ВМТ; 12 — датчик положения коленвала; 13 — датчик положения дроссельной заслонки; 14 — электронный блок управления; 15 — датчик разряжения; 16 — катушка зажигания; 17 — свеча зажигания; 18 — накопитель топлива; 19 — датчик температуры

НАИБОЛЕЕ СУЩЕСТВЕННЫЕ ОТЛИЧИЯ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ, РАДИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ И РЯДНЫХ НАСОСОВ

Принцип	Радиально-поршневой	Аксиально-поршневой	Рядный
Долговечность	+	0	0
КПД	+	0	0
Компактность	+	0	—
Цена	+	+	0

Примечание. + — хорошо, 0 — средне, — — плохо

Производительность насоса смазки определяется также углом положения дроссельной заслонки. Это позволяет осуществлять смазку кривошипно-шатунного механизма и цилиндра-поршневой группы с учетом реальной нагрузки двигателя и в целом ведет к резкому снижению расхода масла. К тому же при данной системе смазки масло не разжижается топливом и поэтому почти не уносится из картера двигателя. Последнее значительно улучшает условия эксплуатации подшипников шатуна и цилиндра-поршневой группы.

Системный анализ долговечности, коэффициента полезного действия, компактности и стоимости позволяет утверждать, что наилучшим образом указанным требованиям удовлетворяет только поршневой насос (таблица). Среди многочисленных видов поршневых насосов наиболее полно перечисленным требованиям удовлетворяет радиальный поршневой насос. Он имеет хорошую долговечность, КПД, компактность и удобство компоновки (благодаря короткой базе), что и требуется в нашем случае (очень важен прямой привод от носка коленвала). Пульсации топлива определяются главным образом числом поршней. Если исходить из этого фактора, то компромиссом могло бы быть

три поршня. Если же пульсации потока синхронизировать с коленвалом, то возможен подбор фазы впрыска на пике давления, что позволит избежать зависимости подаваемой дозы топлива от пульсации давления. Этой же цели служит накопитель топлива. Благодаря значительному (по сравнению с фазой впрыска) объему хранящегося топлива, его высокому давлению и упругости корпуса значительно снижаются пульсации давления на входе форсунки. Другая важнейшая функция накопителя — хранение необходимого запаса топлива под давлением при остановленном двигателе. Здесь очень важно качество клапанов топливного насоса, клапана-регулятора давления и форсунки.

Особенность предложенной схемы и алгоритма работы заключается в том, что импульсы на первичную обмотку катушки зажигания поступают от электронного блока управления впрыском. Это позволяет эффективно влиять на тяговую характеристику двигателя за счет изменения угла опережения зажигания. Например, снижая угол опережения, можно резко снизить крутящий момент. Плюсом такой системы является и то, что электронным способом полностью реализуются функции центробежного автомата опережения зажигания и вакуумного корректора.

Электронный блок управления воспринимает сигналы датчиков и выдает команды впрыска и зажигания согласно образцовым многомерным матрицам, построенным по результатам испытаний двигателей на стендах. Данные матриц хранятся в памяти электронного блока управления.

Замена данных позволяет адаптировать систему к другому двигателю или сменить характеристику данного. По желанию потребителя возможно ограничение мощности или максимальных оборотов двигателя.

Изготовлены опытные образцы (рис. 2) и проведены стендовые испытания системы непосредственного впрыска.

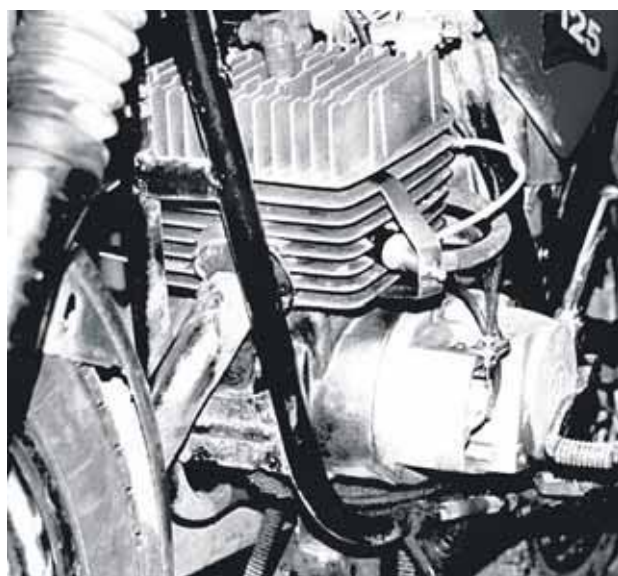


Рис. 2. Опытный образец системы непосредственного впрыска для двухтактных двигателей производства Минского мотовелозавода