

УДК 641

А.А. Обозов, Д.И. Субботенко

## ЭЛЕКТРОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ И СИСТЕМА ТОПЛИВОПОДАЧИ COMMON RAIL КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Проанализированы способы электронного управления дизельным двигателем. Описаны алгоритмы работы системы топливоподачи Common Rail с электронным управлением на различных эксплуатационных режимах.

Ключевые слова: топливная аппаратура, аккумуляторная топливная система, Common Rail, электронное управление дизелем, электронный блок управления, форма характеристики впрыска, угол опережения впрыска топлива, дизельный двигатель.

В последние годы в мире наблюдается тенденция, направленная на сохранение окружающей среды, в том числе и в двигателестроении. Это заключается в ужесточении экологических требований, предъявляемых к двигателям внутреннего сгорания, для удовлетворения которых требуется разработка экологически чистых технологий сгорания топлива. Основная роль в этом отводится улучшению топливоподачи и, как следствие, совершенствованию топливной аппаратуры и методов управления топливоподачей.

Достижение жестких экологических норм дизельных двигателей стало возможным благодаря прорыву в конструкции топливной аппаратуры в конце 90-х гг., а именно появлению серийно выпускаемых двигателей, оборудованных системой Common Rail (CR), и постоянно развивающихся систем электронного управления двигателем. Появление системы CR позволило совместить гибкое электронное управление топливоподачей с повышением давления впрыскивания топлива форсунками в цилиндры двигателя, что в конечном счете позволило снизить удельный расход топлива и уровень токсичных выбросов с отработавшими газами (ОГ). Электронное управление дизелями позволяет осуществлять высокоточную регулировку параметров впрыска топлива на всех эксплуатационных режимах. Только гибкое электронное управление дает возможность современным дизельным двигателям конкурировать со своими бензиновыми аналогами, удовлетворяя целому ряду предъявляемых к ним требований.

Современные передовые технологии в двигателестроении сфокусированы на снижении расхода топлива и эмиссии вредных веществ ( $NO_x$ , CO, CH) с отработавшими газами при одновременном повышении эффективных характеристик двигателя (мощности и крутящего момента).

Типовая структурная схема электронного управления дизелем представлена на рис. 1[1].



Рис. 1. Блок-схема системы электронного управления дизелем [1]

Система электронного управления включает в себя три системных модуля (рис. 2):

1. Датчики и генераторы импульсов определяют эксплуатационные условия (например, температуру и давление воздуха на впуске) и установочные значения (например, положение выключателей). Они преобразуют физические переменные в электрические сигналы.

2. Электронный блок управления (ЭБУ) обрабатывает сигналы датчиков и задающих генераторов на основе алгоритмов разомкнутых и замкнутых систем управления. Электронный блок осуществляет управление исполнительными устройствами посредством выходных электрических сигналов. Кроме того, электронный блок управления осуществляет взаимосвязь с другими системами, например с диагностической системой автомобиля.

3. Исполнительные устройства преобразуют выходные электрические сигналы от блока управления в управляющие электрические сигналы повышенной мощности и механические воздействия на элементы органов управления двигателя (как, например, в регуляторе давления топлива).

Основной функцией электронной системы управления является регулирование цикловой подачи топлива, угла опережения впрыска, а в топливной системе Common Rail также осуществляется регулирование давления впрыскивания топлива. Используя входные сигналы датчиков вместе с хранящимися в памяти программируемыми матрицами, микропроцессор системы электронного управления рассчитывает угол опережения впрыскивания и его продолжительность. Эта информация преобразуется затем в передаточные функции, которые синхронизируются с циклом работы в каждом цилиндре двигателя [1].

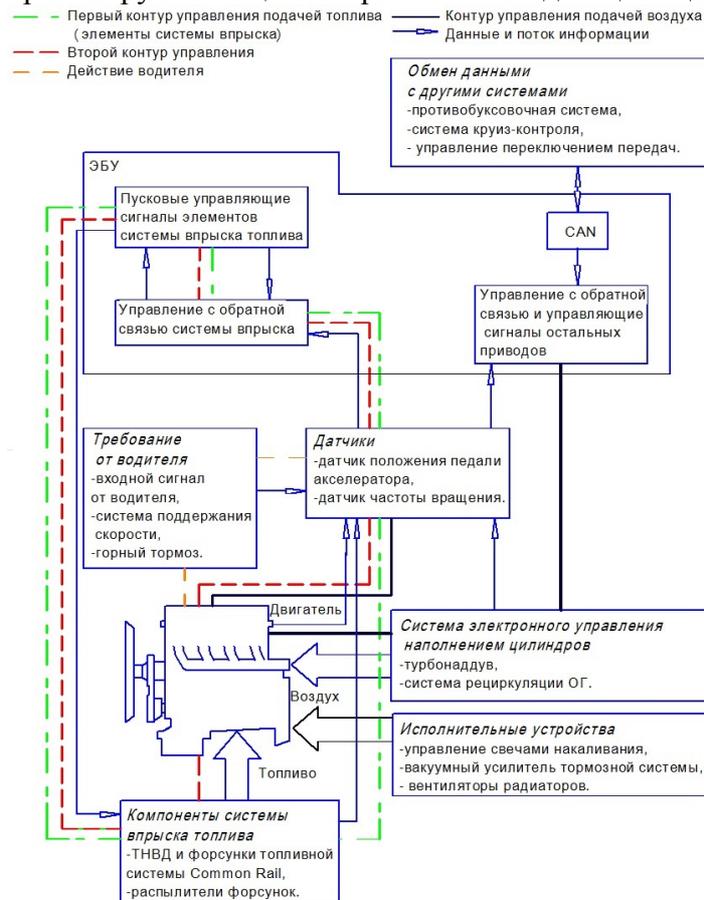


Рис. 2. Блок-схема последовательности операций в системе электронного управления [1]

К современным системам топливоподачи предъявляется ряд жестких требований:

- организация высокого давления впрыскивания топлива (до 250 МПа) и управление им на всех эксплуатационных режимах;
- применение многофазного впрыска для снижения шума и дожигания органических компонентов, обеспечение работы нейтрализатора;
- управление формой характеристики впрыска;
- обеспечение требуемого количества впрыскиваемого топлива и продолжительности впрыска;
- переменный угол опережения впрыска в зависимости от режима работы дизеля;
- оптимизация управления топливной аппаратурой для каждого режима двигателя;
- максимально возможное снижение неравномерности подачи топлива по цилиндрам;
- самодиагностика топливной системы [2- 4].

Традиционные системы топливоподачи с гидромеханическим управлением не могут удовлетворять всем перечисленным требованиям, поэтому управление современными дизельными двигателями осуществляется с помощью электронно-управляемых систем. Система электронного управления дизелем способна отвечать всем перечисленным требованиям благодаря использованию ЭБУ с высокими характеристиками микропроцессора.

Система топливоподачи с электронным управлением CR способна удовлетворять всем современным требованиям и включает в себя следующие основные элементы электронного управления: ЭБУ; датчики частоты вращения коленчатого и распределительного валов; датчик положения педали акселератора; датчик давления наддува; датчик давления топлива в аккумуляторе; датчик температуры охлаждающей жидкости; массовый расходомер воздуха [5].

Входные сигналы указанных датчиков делятся на аналоговые, которые преобразуются в цифровые посредством аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) (например, температура и давление воздуха на впуске, температура охлаждающей жидкости и т.д.), и цифровые (например, частота вращения коленчатого и распределительного валов), которые обрабатываются непосредственно микропроцессором.

В дизелях с электронной системой управления не оказывается непосредственного влияния на цикловую подачу с помощью педали акселератора, в отличие от двигателей с механическим управлением. Цикловая подача топлива в дизелях с ЭБУ определяется исходя из целого ряда факторов:

- положение педали акселератора;
- режим работы дизеля;
- температура масла и охлаждающей жидкости;
- температура и давление воздуха на впуске и т.д.

ЭБУ осуществляет расчет подачи импульсов на форсунки и регулятор давления топлива, не только позволяя определять величину цикловой подачи на всех эксплуатационных режимах, но и регулируя момент начала впрыска топлива. Анализируя входные сигналы, ЭБУ задает пусковые управляющие сигналы для непосредственного управления исполнительными устройствами элементов системы впрыска топлива.

На рис. 3 показаны последовательность расчета параметров впрыскивания, зависимости анализируемых параметров, число которых определяется для каждого цикла работы двигателя индивидуально. Для оптимального процесса сгорания в дизеле на всех эксплуатационных режимах ЭБУ точно рассчитывает время и количество впрыскиваемого топлива (цикловую подачу) для всех эксплуатационных условий.

Рассмотрим подробнее работу электронной системы управления топливоподачей CR на различных эксплуатационных режимах.

При пуске двигателя впрыск топлива не происходит до тех пор, пока давление в аккумуляторе не достигнет определенного значения (обычно составляющего 380-400 бар).

После этого величина подачи топлива рассчитывается как функция температуры охлаждающей жидкости и частоты вращения коленчатого вала. При работе на одном из эксплуатационных режимов двигателя количество впрыскиваемого топлива есть функция положения педали акселератора, частоты вращения коленчатого вала и количества подаваемого воздуха. Расчет величины подачи зависит от программируемых матриц, при этом принимаются во внимание другие влияющие на величину подачи факторы (например, внешнее влияние на мощность двигателя).

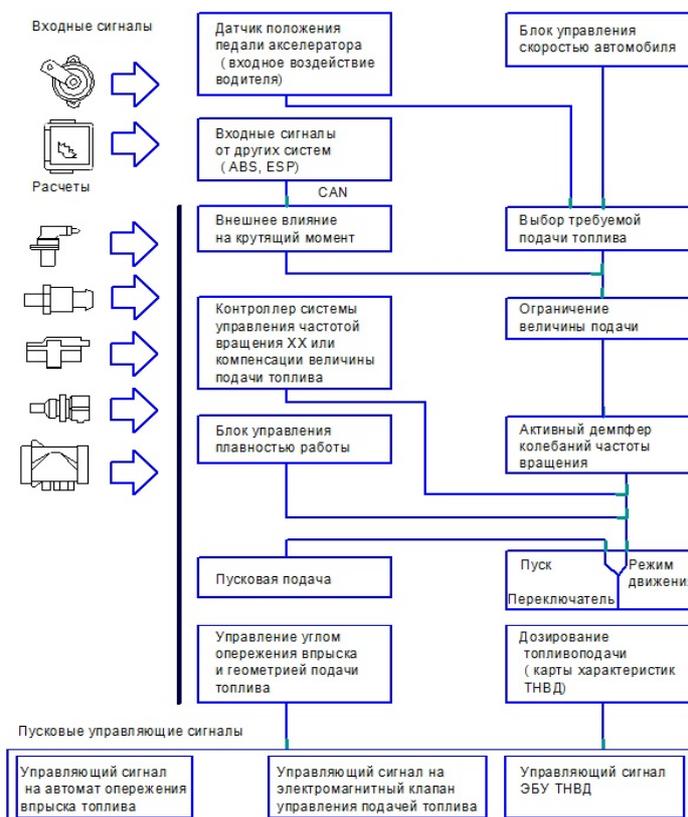


Рис. 3. Блок-схема расчета процесса подачи топлива в ЭБУ [2]

Минимальная частота вращения холостого хода (XX) поддерживается системой электронного управления и изменяется в зависимости от режима работы двигателя. Существует ряд случаев, когда минимальная частота вращения XX устанавливается выше своего стандартного значения. Так, на непрогретом двигателе минимальная частота вращения XX обычно устанавливается выше, чем на двигателе, достигшем рабочей температуры. При работе на режиме XX ЭБУ должен четко регулировать частоту колебаний для установления заданной частоты вращения. ЭБУ должен корректировать величину цикловой подачи, пока фактическая частота вращения не будет соответствовать заданной.

Для снижения токсичных выбросов на режиме XX целесообразно минимизировать частоту вращения, тем самым уменьшив количество сжигаемого топлива.

Для исключения возможности разноса двигателя устанавливается максимальная частота вращения коленчатого вала, превышение которой допустимо кратковременно и контролируется ЭБУ.

При достижении максимальной частоты вращения ЭБУ постепенно снижает цикловую подачу. Если из-за ряда факторов (поломка клапана регулятора давления или эксплуатационные факторы) частота вращения не уменьшилась, то ЭБУ отключает подачу топлива.

Для поддержания плавности работы двигателя необходимо, чтобы все цилиндры двигателя развивали одинаковый крутящий момент. Различия в величине крутящего момента приводят к неравномерной работе двигателя, увеличению уровня шума и токсичных выбросов. Принцип поддержания плавности работы двигателя для определения колебаний крутящего момента состоит в определении колебаний частоты вращения по цилиндрам. Частота вращения после впрыска топлива в каждый цилиндр сравнивается со средней частотой вращения, и если частота вращения при впрыске в данный цилиндр оказывается слишком низкой, то количество впрыскиваемого в него топлива увеличивается, а если слишком высокой - уменьшается (рис. 4) [1]. Поддержание плавности работы двигателя осуществляется не только на режиме ХХ, но и на всех скоростных режимах путем обеспечения идентичной подачи для всех цилиндров.

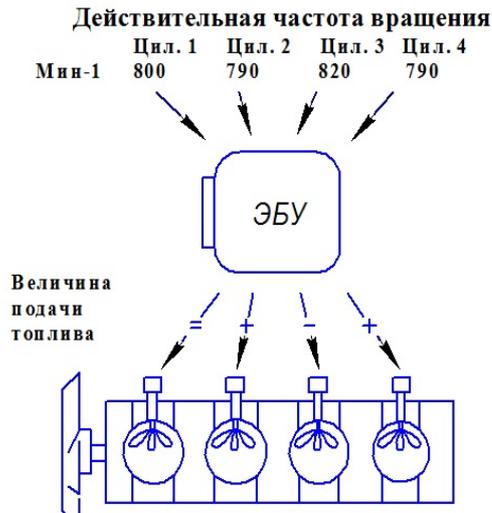


Рис. 4. Поддержание плавности работы двигателя

Существует ряд причин, ограничивающих величину подачи топлива, задаваемую педалью акселератора. Впрыск требуемого количества топлива может привести к следующим последствиям:

- резкое увеличение выброса вредных веществ;
- увеличение выброса сажи;
- критическая механическая перегрузка из-за высокого значения крутящего момента или повышенной частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- резкая тепловая перегрузка из-за слишком высоких температур ОГ, охлаждающей жидкости, масла или давления наддува;
- тепловая перегрузка электромагнитных клапанов как результат слишком продолжительного пускового сигнала [1].

Чтобы исключить перечисленные негативные эффекты, при генерировании функции ограничения

используется ряд входных переменных (например, расход воздуха на впуске, частота вращения двигателя и температура охлаждающей жидкости). В результате максимальное количество впрыскиваемого топлива ограничивается, а вместе с этим ограничивается и максимальный крутящий момент.

При использовании системы компенсации подачи топлива форсунками системы CR данные по измерению массы впрыскиваемого топлива определяются для каждой форсунки на стадии изготовления. Эти данные фиксируются затем для каждой форсунки в форме кода матрицы данных. Применительно к форсункам с пьезоэлектрическим приводом включаются также данные по характеристике подъема иглы распылителя. Эти данные передаются в электронный блок управления уже на стадии изготовления автомобиля. Во время работы двигателя эти значения используются для компенсации отклонений в дозировании и характеристике переключения.

Надёжное обеспечение малых предварительных впрысков топлива в течение всего срока службы двигателя исключительно важно с точки зрения требуемого уровня комфорта (снижение уровня шума) и достижения норм по снижению эмиссии вредных выбросов с отработавшими газами. В системах CR второго и третьего поколений на переходных режимах в один цилиндр впрыскивается небольшое количество топлива. Датчик частоты вращения определяет результирующее увеличение крутящего момента по небольшому изменению частоты вращения двигателя. Такое увеличение крутящего момента, которое остаётся не замеченным водителем, тесно связано с количеством впрыскиваемого топлива. Этот процесс повторяется затем для всех цилиндров при различных эксплуатационных условиях. Обучающий алгоритм определяет минимальные изменения ве-

личины предварительного впрыска и корректирует период включения форсунки в соответствии со всеми предварительными впрысками.

При впрыске топлива в линии высокого давления между распылителем и аккумулятором топлива во всех системах CR возникают волновые процессы. Такие импульсы давления оказывают непосредственное влияние на величину подачи в последующих впрысках (предвпрыск/подвпрыск/основной впрыск/дополнительный впрыск) в пределах цикла сгорания. Величина отклонений в последующих впрысках зависит от количества предварительно впрыскиваемого топлива, периода времени между впрысками, давления в аккумуляторе топлива и температуры топлива. ЭБУ может рассчитать корректирующий фактор включением указанных параметров в соответствующий алгоритм компенсации. Однако для такой корректирующей функции требуются исключительно высокие ресурсы прикладных систем. Тем не менее польза от этого заключается в возможности гибкого регулирования интервалов между предварительным и основным впрысками топлива (например, для оптимизации процесса сгорания).

На режимах увеличения частоты вращения при разгоне посредством педали акселератора непосредственно изменяем крутящий момент двигателя. В то же самое время, независимо от воздействия на акселератор, через интерфейсы других систем транспортного средства запрос крутящего момента рассматривается с учетом потребляемой мощности различных систем (кондиционер, генератор). Используя эти входные сигналы по запросу крутящего момента, система управления двигателя рассчитывает скорректированный крутящий момент, который может быть создан двигателем, управляя соответствующими приводами, регулирующими величину цикловой подачи топлива и расход воздуха. Этот метод имеет следующие преимущества:

- Никакая отдельная система (например, давления наддува, топливная система, система предварительного подогрева свечами накаливания) не оказывает непосредственного влияния на управление двигателем. Это позволяет системе управления двигателем принимать также во внимание критерии оптимизации более высокого уровня (такие как выброс вредных веществ с ОГ и расход топлива) при обработке внешних воздействий и обеспечивать, таким образом, управление двигателем наиболее эффективным способом.

- Многие функции, которые не касаются непосредственно управления двигателем, могут быть спроектированы как идентичные функции для дизелей и бензиновых двигателей.

- Может быть быстро применено расширение функциональных возможностей системы [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронное управление дизелями (EDC). Система Common Rail. Управление подачей топлива. Последовательная шина передачи данных (CAN). - <http://www.ecologic.su/page.asp?id=372>.
2. Курманов, В.В. Дизельная топливная аппаратура нового поколения для обеспечения экологических норм / В.В. Курманов, М.В. Мазинг // Автомобили и двигатели: сб. науч. тр. - М. : НАМИ, 2006. - Вып. 236. - С.62-68.
3. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учеб. для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. - 2-е изд. - М.: Легион-Автодата, 2005. — 344 с.
4. Мазинг, М.В. Дизельные аккумуляторные топливные системы нового поколения типа «Common Rail» / М.В. Мазинг, Ф.И. Пинский, О.В.Олисевиц // Мобильная техника. – 2004. - №1. - С.31-36.
5. Система управления аккумуляторными топливными системами дизельных двигателей. Диагностика и контроль форсунок. - [http://storage.library.opu.ua/online/periodic/opu\\_2008\\_1\(29\)/4-3.pdf](http://storage.library.opu.ua/online/periodic/opu_2008_1(29)/4-3.pdf).

Материал поступил в редколлегию 12.09.14.