

АККУМУЛЯТОРНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

В.Ф. Боровиков, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ)

Аннотация

Дан анализ принципиальных особенностей конструкции известных аккумуляторных топливных систем (АТС) типа Common Rail для автотракторных дизелей с электронным управлением дозирования и впрыска топлива. Указаны отличия некоторых режимных и эксплуатационных показателей дизелей, оборудованных новыми системами, по сравнению с традиционными дизелями. Сделан вывод об актуальности разработки отечественной аккумуляторной системы для автотракторных дизелей.

Введение

Ужесточение законодательных норм по экологическим и виброакустическим показателям двигателей внутреннего сгорания потребовало от моторостроителей радикально модернизировать топливную аппаратуру автотракторных дизелей.

К топливной аппаратуре нового поколения относятся:

- системы с механическим приводом: насос-форсунки и индивидуальные насосы;
- аккумуляторные топливные системы (АТС).

Если первые из указанных систем являются переходным этапом в развитии топливной аппаратуры автотракторных дизелей, то вторые, по общему мнению специалистов, способны обеспечить выполнение перспективных норм по экологическим показателям дизелей на ближайшие 5-10 лет.

Обобщая сведения разных научных публикаций, можно утверждать, что с применением аккумуляторных топливных систем, экономичность дизельных двигателей улучшилась на 10-15%, мощность возросла на 40%, существенно снизились выбросы в атмосферу токсичных веществ с отработавшими газами (ОГ) и в полном объеме выполнены требования уровня «Евро-4» Правил №49 ЕЭК ООН (для двигателей дорожных машин), шум снизился на 10 дБ.

АТС серийно производятся в Западной Европе, США и Японии. Технический сервис импортной автотракторной техники, как правило, производится специалистами дилерских станций компаний-производителей и поэтому отечественным специалистам не хватает технической информации, содержащей глубокий анализ этой принципиально новой техники.

Целью статьи является анализ конструктивных, режимных и эксплуатационных показателей известных АТС зарубежного производства, и попытка формулирования основных идей технического предложения по разработке отечественной АТС для автотракторных дизелей.

Основная часть

Приобретение адаптированных систем АТС зарубежного производства крайне невыгодно для Республики Беларусь, поскольку, во-первых, техника такого рода весьма дорогостоящая и значительно повышает себестоимость двигателей. Во-вторых, контроль над развитием отечественных АТС в этом случае теряется и при изменении экономической ситуации отечественное производство будет не в состоянии выпускать автотракторные дизели на экспорт. Вместе с тем, республика располагает достаточным количеством специалистов высокой квалификации, которые могли бы разработать отечественный аналог АТС для автотракторных дизелей.

Простейший вариант АТС, который стал выпускаться в 1997 году компанией Robert Bosch (Германия), назван Common Rail (в переводе с английского языка чаще всего применяется термин – «общая магистраль»).

АТС типа Common Rail серийно выпускаются компаниями Robert Bosch и Siemens (Германия), ZEXEL и Nippon Denso (Япония) и международным концерном Delphi. Причём, компания Robert Bosch контролирует около 70% мирового рынка данной продукции [1].

Имеется техническая информация о том, что Ярославский завод топливной аппаратуры («ЯЗДА») разрабатывает свой образец АТС. В конце 2006 года был представлен её макет, а в 2007 году предполагалось испытать образец первой серии. АТС призвана удовлетворить потребности заводов «ГАЗ», «КАМАЗ» и УП «Минский моторный завод» («ММЗ»). АТС разрабатывается в соответствии с требованиями уровней «Евро-4» и «Евро-5» Правил №49 ЕЭК ООН для двигателей дорожных машин. Для обеспечения испытаний АТС приобретен и введен в эксплуатацию французский специализированный исследовательский стенд «EFS».

Принципиальные конструктивные отличия АТС Common Rail состоят в применении топливного аккумулятора высокого давления и электроуправляемых форсунок с микропроцессорным (электронным) управлением. Таким образом, процесс создания энергии впрыска и процесс дозирования топлива разделены по

месту и времени и не оказывают неблагоприятного воздействия друг на друга.

Главные функциональные преимущества АТС Common Rail – возможность изменять в широких пределах параметры впрыска (момент начала, продолжительность, форма характеристики, давление, многостадийное построение впрыска) в зависимости от целого ряда входных параметров рабочего процесса дизеля. В первую очередь, в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов, температурного состояния деталей цилиндропоршневой группы, условий окружающей среды, физико-химических свойств топлива. Это позволяет радикально улучшить экологические, виброакустические и мощностно-экономические показатели дизеля. Для высокофорсированных дизелей производства УП «ММЗ» особенно важна возможность снижения выбросов твердых частиц (ТЧ) и оксидов азота NOx за счет многостадийной топливоотдачи.

Компоновка основных элементов АТС Common Rail на дизеле значительно упрощена по сравнению с традиционными системами топливоподачи из-за более гибких связей элементов АТС между собой. Основные элементы АТС Common Rail, предназначенные для двигателей разного класса и назначения, обладают высокой степенью унификации.

В общем случае, регулировки дизеля с целью достижения экологической безопасности оказываются неоптимальными для достижения наилучшей экономичности двигателя, поэтому при применении новых систем топливоотдачи улучшение мощностно-экономических показателей дизеля менее существенно, чем экологических [2].

В настоящее время принципиальная схема системы АТС Common Rail и конструкции её составляющих элементов, в основном, определились.

Такая система включает в себя топливный насос высокого давления (ТНВД) с регулируемой производительностью и давлением, топливный аккумулятор, комплект электроуправляемых форсунок и микропроцессорное управляющее устройство – микроконтроллер, частью которого является электронный блок управления. В микроконтроллер входят датчики входных сигналов, преобразователи сигналов, силовая электроника и некоторые исполнительные устройства. Зачастую

электронным блоком управления называют весь микроконтроллер.

На рис. 1 приведена типичная схема расположения АТС Common Rail на четырёхцилиндровом дизеле.

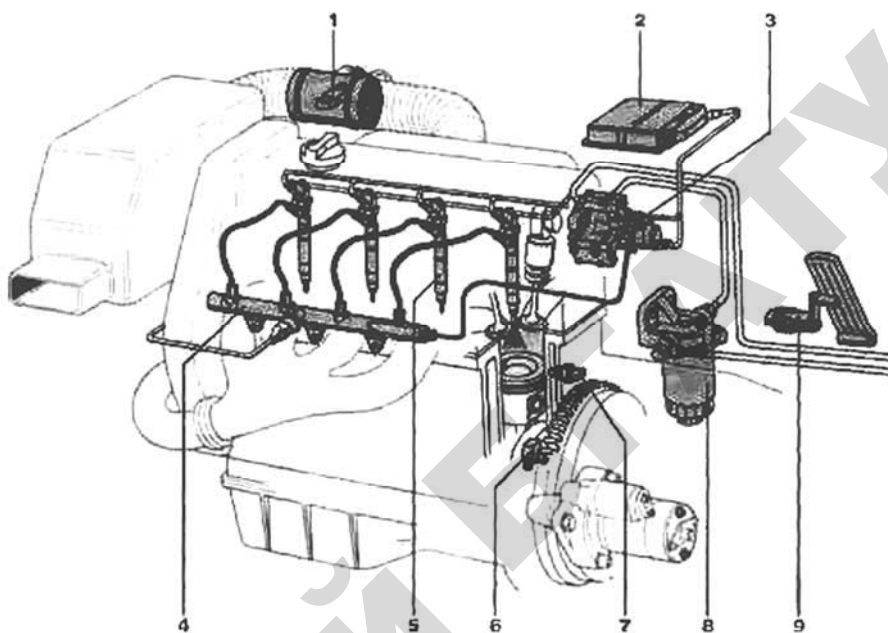


Рисунок 1. Схема расположения АТС Common Rail на четырёхцилиндровом дизеле:

- 1 – массовый расходомер воздуха; 2 – электронный блок управления; 3 – топливный насос высокого давления; 4 – аккумулятор топлива высокого давления; 5 – форсунки; 6 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 7 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 8 – топливный фильтр; 9 – датчик положения педали акселератора (датчик Холла).

ТНВД является источником необходимой энергии впрыска топлива и создаёт высокое давление заданной величины, которое выравняется с помощью топливного аккумулятора, одного для рядных двигателей, и для V-образных двигателей, обычно, двух аккумуляторов, соединённых через аккумулятор-распределитель. Дозирование топлива производится изменением продолжительности топливоподачи и давления топлива в аккумуляторах с помощью электроприводных клапанов форсунок и топливных насосов. Управление осуществляется сигналами, формируемыми микроконтроллером по информации от задатчика (датчика положения педали акселератора или управления подачей топлива) и функциональных и параметрических датчиков.

Топливоподкачивающие насосы (ТПН), шестерённые или коллатные, чаще всего расположены в одном корпусе с ТНВД, что позволяет использовать один и тот же механический привод. В некоторых вариантах АТС Common Rail электроприводной ТПН первой ступени входит в состав погружного модуля, устанавливаемого в топливном баке. Между топливным фильтром и входом в ТПН расположен ручной прокачивающий насос, отрегулированный на номинальную величину давления в топливном аккумуляторе.

Серийно выпускаемые ТНВД создают в аккумуляторе топлива давление до 2100 бар (210 МПа) для мощных дизелей и обеспечивают возможность регулирования давления в зависимости от режима работы двигателя. Для небольших дизельных двигателей строительных и сельскохозяйственных машин компания Robert Bosch разработала недорогую АТС Common Rail с давлением впрыска до 1100 бар (110 МПа) [3]. ТНВД, в основном, представляют собой роторные насосы, в которых нагнетающие топливо плунжеры совершают возвратно-поступательное движение в соответствии с профилем кулачковой шайбы. Если кулачки в ТНВД традиционной топливной аппаратуры должны обеспечивать высокочастотные импульсы давления топлива, то такой задачи в системе Common Rail нет. Поэтому все варианты ТНВД Common Rail обеспечивают сглаженный характер нагружения приводного вала крутящим моментом. Благодаря этому, требования к приводу ТНВД снижены до уровня требований к прочим вспомогательным агрегатам дизеля, несмотря на высокие давления нагнетания.

В зависимости от числа и рабочего объема цилиндров дизеля, номинальной частоты вращения коленчатого вала (к.в.) дизеля и необходимой величины подачи топлива, приводы насосов от коленчатого вала выполняются с передаточным отношением 1:1, 1:1,5; 1:2.

ТНВД компаний Robert Bosch и Siemens крепятся на двигателях с помощью фланцев и трёх шпилек с центровкой насоса по цилиндрической поверхности диаметром 50 мм. Масса некоторых моделей ТНВД компании Robert Bosch не превышает 6 кг.

Регулирование величины давления топлива, создаваемого ТНВД, производится дросселированием топлива на впуске с помощью электроуправляемого клапана.

Сравнительный анализ ТНВД для АТС Common Rail, приведенный в ряде публикаций, показывает, что все варианты серийно выпускаемых насосов обеспечивают получение, практически, одинаковых давлений в аккумуляторе и высокой производительности при относительно низкой и стабильной величине крутящего момента на приводном валу. Для регулирования давления во всех новых насосах применён принцип дросселирования на впуске, позволяющий снизить затраты мощности на привод и уменьшить нагрев топлива.

Электроуправляемые форсунки (иногда в технической литературе называемые инжекторами) являются основными исполнительными элементами АТС Common Rail, определяющими её работоспособность и эффективность. Впрыск топлива происходит так же, как и в традиционных системах топливоподачи. При подъёме иглы форсунки, топливо из подводящего канала через многорычатый распылитель форсунки поступает в цилиндр. Отличия состоят в конструкции и работе электроуправляемого привода иглы распылителя.

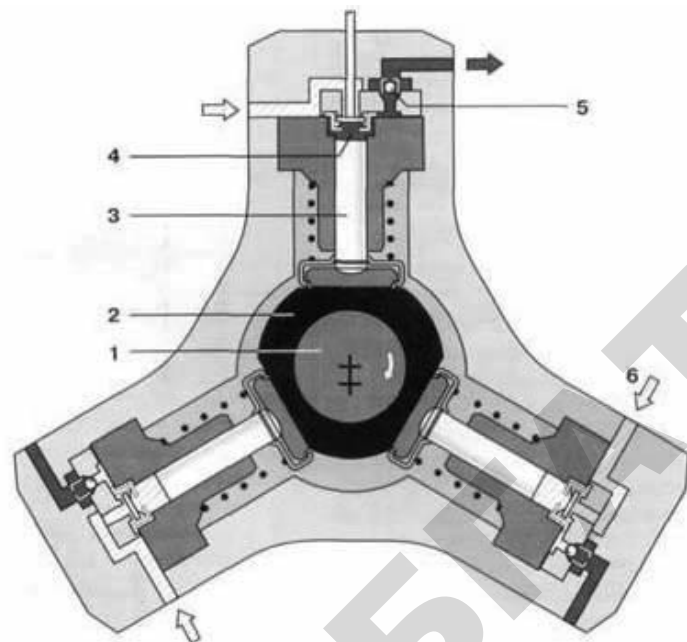


Рисунок 2. Топливный насос высокого давления АТС Common Rail компании Robert Bosch (поперечный разрез): 1 – вал привода; 2 – кулачок; 3 – насосный элемент с плунжером; 4 – впускной клапан; 5 – выпускной клапан; 6 – вход топлива.

Управление открытием и закрытием управляющего клапана, сообщённого с управляющей камерой гидропривода, давление в которой создаёт необходимую силу запертия иглы, производится по командам микроконтроллера управляющих сигналов. В качестве рабочего тела чаще всего применяется дизельное топливо, поступающее из аккумулятора. В настоящее время, обычно, запирающая иглу сила создаётся падением давления топлива на дросселе в канале подвода топлива к распылителю, и это называется дроссельным гидроприводом игл распылителя.

Наметилась тенденция к переходу к пьезоэлектрическому приводу, как управляющих клапанов форсунок, так и игл распылителей форсунок [4]. Это объясняется тем, что пьезоэлектрический привод имеет более высокое быстродействие и исключительно низкие потери энергии на управление. Недостатком пьезоэлектрического привода можно считать обеспечиваемые им относительно малые перемещения управляемого элемента. Это требует применения специального привода, увеличивающего перемещение затвора управляющего клапана, например, рычага.

Важным достоинством АТС Common Rail является малая зависимость максимальных давлений впрыска от величины проходного сечения распылителя.

Таким образом, фаза впрыскивания топлива и дозирование подачи топлива в цилиндры двигателя при постоянном давлении топлива на входе в форсунку определяется фазой и длительностью электрического управляющего импульса, подаваемого микроконтроллером на управляющий клапан.

С точки зрения особенностей эксплуатации, можно привести некоторые мнения отечественных специалистов, эксплуатирующих дизельные автомобили и тракторы, снабжённые системами АТС Common Rail.

Оправданными можно считать претензии к качеству отечественного топлива. Хотя здесь необходимо различать показатели топлива, выходящего из нефтеперерабатывающих заводов, и топлива, получаемого водителями на заправочных станциях. Известно, что из-за несоблюдения технологий транспортировки и хранения, качество топлива на пути к потребителю значительно ухудшается, в первую очередь, из-за появления в нем механических загрязнений и воды. Эта проблема частично решается более частой заменой топливных фильтров по их реальному состоянию.

Кроме того, относительно высокое содержание серы в отечественном топливе приводит к быстрой деградации моторного масла при прорыве отработавших газов (ОГ) в картер дизеля, в то время, когда к качеству масла современных дизелей предъявляются высокие требования.

Для подавления выбросов оксидов азота NO_x , на всех современных дизелях устанавливаются малые углы опережения подачи топлива, и происходит позднее сгорание смеси. Весь процесс сгорания происходит в тот период работы дизеля, когда поршень начинает своё движение вниз. При ходе поршня вниз на верхней части стенок цилиндра остаётся какой-то отрезок смазанной маслом поверхности, которое пригорает, образуя нагар. Когда поршень вновь поднимается вверх, он захватывает нагар и отводит его в моторное масло. Таким образом, сажа вместе с маслом попадает в масляный поддон и удерживается в масле во взвешенном состоянии.

Кроме того, относительно длительное воздействие высоких температур при поздней подаче топлива увеличивает возможность появления лаков и нагара в канавках поршневых колец и сопряжениях «втулка-стебель клапана» газораспределительного механизма. Поэтому кроме высокого щелочного числа, характеризующего «моющие и диспергирующие» свойства моторного масла, становится важным и содержание в нём кальция.

Кальцийсодержащие присадки в моторных маслах современных форсированных дизелей в большей мере позволяют удерживать сажу во взвешенном состоянии. Если в традиционных дизельных двигателях содержание сажи в моторном масле не превышает 2,5%, то при форсировании дизелей оно может достигать 7,5%. При использовании обычных масел частицы сажи могут образовать нежелательные отложения в маслопроводах системы смазки. Частичным решением проблемы может стать более частая замена моторного масла, но избежать излишнего нагара таким образом не удаётся.

Необходимо отметить, что отечественное двигателестроение имело в своё время неплохой задел по разработке электронных систем управления топливной аппаратурой автотракторных дизелей. Такие организации, как НПО ЦНИТА и НПО ЦНИДИ, технический

университет МГТУ и другие организации в сотрудничестве с Минским тракторным и Минским моторным заводами выполнили большой объём НИ и ОКР, результаты которых представляют интерес и сегодня. Были разработаны теория и расчётные методики, созданы экспериментальные образцы электронных регуляторов ТНВД, электрогидравлических форсунок, микропроцессорных систем управления и других компонентов АТС, проведены экспериментальные исследования [5], причём, как для дизелей, так и для двигателей с принудительным воспламенением. К сожалению, отечественные разработки не дошли до стадии внедрения в производство.

Выводы

Очевидно, что выполнение норм по перспективным экологическим показателям автотракторных дизелей возможно лишь с применением АТС.

Предполагается, что развитие конструкций отечественных АТС будет идти с учетом следующих тенденций: повышение давления топлива в топливном аккумуляторе, повышение быстродействия приводов (управляющими клапанами и иглой распылителя), увеличение числа параметров, формирующих управляющие сигналы программы бортового компьютера.

Необходимо в ближайшее время начать работы по созданию отечественного варианта АТС для автотракторных дизелей. Эта задача может быть выполнена коллективом специалистов разного профиля: инженеров, механиков, конструкторов и исследователей, гидравликов, специалистов по электромеханике и промышленной электронике, программистов. Учитывая сроки создания работоспособной системы, задача представляется ещё более сложной, но её решение должно быть найдено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазинг, М.В. Дизельные аккумуляторные топливные системы нового поколения типа Common Rail / М.В.Мазинг, Ф.И.Пинский, О.В.Олисевиц // Мобильная техника, № 1, 2004. – С. 31-36.
2. Наумов, В.Н. Новый способ регулирования топливopодачи дизеля / В.Н.Наумов, Ю.Д.Погоуляев, В.М.Сергеев // Механизация строительства, №1, 2005.– С. 11 – 14.
3. Linzing, R. Этапы развития систем Common Rail. Weniger ist mehr. / R.Linzing // AMZ: Auto, Mot., Zubehör, № 11, 2005. – С. 36 – 40
4. Доле, У. Bosch Common Rail / У.Доле // Ведомости BOSCH [Электронный ресурс], № 14, 2006. – Режим доступа: <http://www.bosch.ru>. – Дата доступа: 22.01. 2008.
5. Бордуков, В.В. Электронное управление процессом топливopодачи автотракторных двигателей / В.В.Бордуков, А.В.Козлов, Б.Н. Файнлейб, В.Э.Коганер // Двигателестроение, №6, 1990. – С. 17-21.