

УДК 629.3.021

А.С. КЛИМУК, А.М. СУПРОН

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск

## ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*Рассматривается и анализируется история развития электронной системы управления дизельным двигателем с целью выявления закономерностей и формирования рекомендаций для разработки расширяемой, полнофункциональной, легко модифицируемой системы управления двигателем следующего поколения*

**Ключевые слова:** система, двигатель, структура, конструкция

Наиболее прогрессивным путем совершенствования дизельного двигателя является применение электронной системы управления (ЭСУ). Это позволяет при минимальных доработках механической части серийного двигателя, за счет настройки параметров электронной системы управления добиться высоких показателей.

Появление и развитие ЭСУ дизельного двигателя тесно связано с введением и постоянным ужесточением Европейских норм, регламентирующих количество и состав вредных выбросов двигателя.

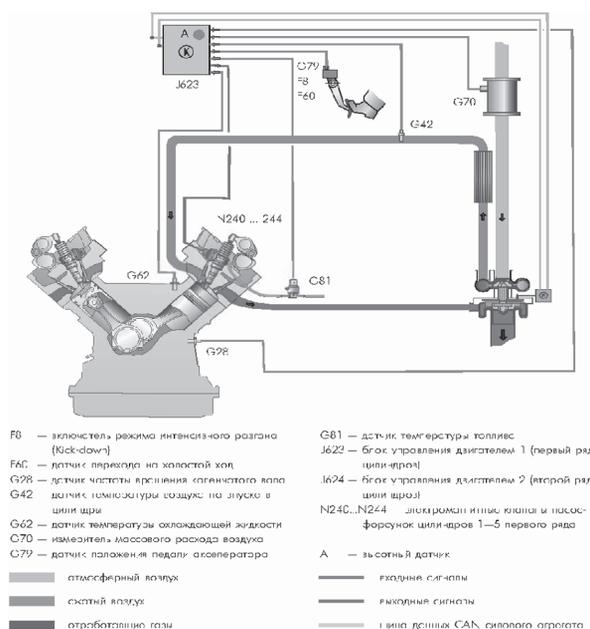
Чтобы уменьшить количество оксидов углерода в выхлопе, необходимо было достичь оптимального сжигания топлива в цилиндрах двигателя. Этому добились, используя электронную систему управления двигателем уровня Евро-2 (рисунок 1). Данная система содержала ставший базовым (минимальный) набор элементов для организации полного и качественного сжигания топлива.

Дальнейшее повышение экологичности двигателя (до уровня Евро-3), а также снижение шумности, стало возможным благодаря улучшению алгоритмов управления и совершенствованию процесса сгорания топлива, за счет увеличения давления впрыска и введения системы повторного использования (рециркуляции) отработавших газов (рисунок 2). При рециркуляции отработавших газов их часть возвращается в цилиндры двигателя и уменьшает температуру процесса сгорания, обеспечивая снижение выбросов оксидов азота. Для контроля процесса рециркуляции и для управления им в систему были добавлены новые датчики и исполнительные механизмы, а также применен электронный блок с большей вычислительной мощностью.

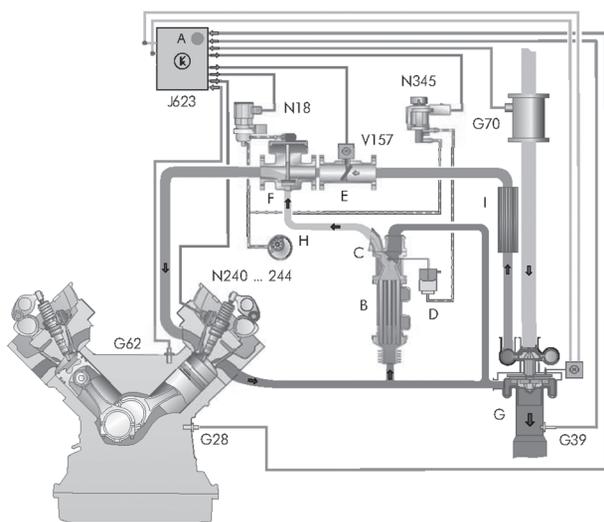
Для достижения экологических норм Евро-4 и Евро-5 большинству производителей моторов пришлось заменить топливную систему более совершенной, обеспечивающей многоточечный впрыск, системой Common Rail (рисунок 3), и добавить новую подсистему, управляющую подачей, подогревом и впрыском раствора мочевины (AdBlue) (рису-

нок 4). Смесь газов, полученная в результате впрыска раствора AdBlue в выхлопной коллектор двигателя, вступает в реакцию в специальном катализаторе. В результате их взаимодействия значительно снижается уровень оксидов азота в выхлопе двигателя и сохраняется высокая экономичность. Частицы сажи улавливает специальный сажевый фильтр, установленный за катализатором.

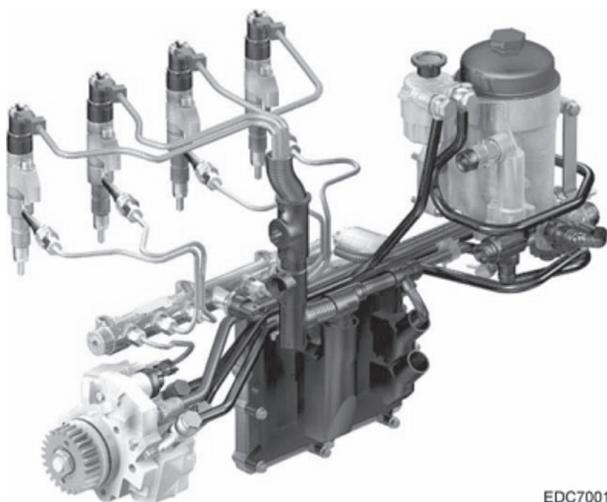
В настоящее время электронная система управления двигателем не только обеспечивает высокий уровень экологичности и экономичности работы дизеля, но и играет ключевую роль во взаимодействии его с другими электромеханическими системами.



**Рисунок 1** — Регулирование цикловой подачи впрыскиваемого топлива при помощи электронной системы управления (Евро 2)



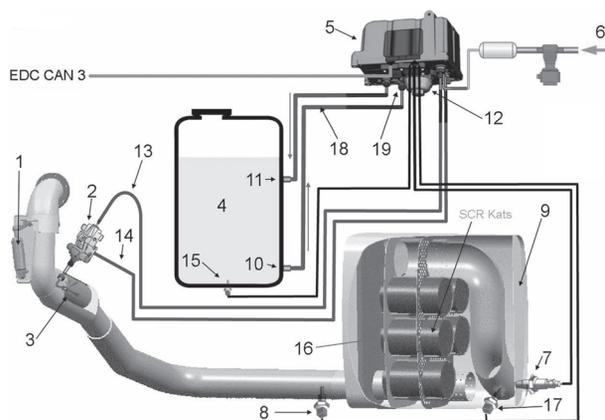
**Рисунок 2** — Электронная система управления двигателем (Евро 3) с повторным использованием отработавших газов: G28 — датчик частоты вращения коленчатого вала; G39 — датчик кислорода; G62 — датчик температуры охлаждающей жидкости; G70 — измеритель массового расхода воздуха; J623 — блок управления двигателем 1; J624 — блок управления двигателем 2; N18 — клапан управления рециркуляцией отработавших газов; N240...N244 — электромагнитные клапаны насос-форсунок; N345 — клапан управления перепуском газов через охладитель; V157 — электродвигатель привода впускной заслонки; А — датчик атмосферного давления; В — охладитель перепускаемых газов; С — заслонка охладителя перепускаемых газов; D — вакуумный привод; E — выпускаемая заслонка; F — клапан перепуска отработавших газов; G — предварительный нейтрализатор; H — вакуумный насос; I — охладитель надувочного воздуха



**Рисунок 3** — Система Common Rail и электронный блок управления EDC 7

Использование такого межсистемного взаимодействия позволило вновь разрабатываемой технике достичь нового уровня потребительских функций, повысило активную безопасность движения автотранспорта (противобуксовочная система тормозов, адаптивный круиз контроль, система поддержания скорости и дистанции), увеличило надежность и безотказность в работе с внешним навесным оборудованием.

Анализируя историю совершенствования электронной системы управления дизельным двигателем, можно заметить, что для обеспечения очередных требований к экологичности двигателя и для добавления новых потребительских качеств в систему, на каждом этапе развития требовался новый электронный блок управления —



**Рисунок 4** — Электронная подсистема управления впрыском мочевины (для двигателей экологического уровня Евро-4 и Евро-5): 1 — исполнительный пневмоцилиндр клапана свободного выпуска; 2 — клапан-дозатор; 3 — форсунка AdBlue; 4 — резервуар AdBlue; 5 — модуль подачи раствора Denoxtronic; 6 — ресивер воздуха (~10 бар); 7 — датчик NOx; 8 — датчик температуры отработавших газов 1; 9 — глушитель; 10 — всасывающий трубопровод; 11 — сливная магистраль; 12 — фильтр 10μ м; 13 — питающая магистраль AdBlue; 14 — сжатый воздух (~3,6 бар); 15 — датчик уровня и температуры AdBlue; 16 — изоляционный слой (Ammoniak Sperrkat); 17 — датчик температуры отработавших газов 2; 18 — линейный фильтр 300μ м; 19 — фильтр предварительной очистки 100μ м

с большей вычислительной мощностью и увеличенным количеством входных контактов (рисунок 5).

Также можно выделить некоторые закономерности в развитии ЭСУ двигателя, характерные для европейских производителей моторов, а именно: базовый (минимальный) набор элементов для обеспечения работоспособности двигателя остается неизменным; для обеспечения новых экологических требований, улучшения экономичности работы двигателя, снижения шумности увеличивается сложность алгоритмов управления и, как следствие этого, возрастает вычислительные мощности электронного блока управления и увеличивается количество входных/выходных контактов для подключения дополнительных датчиков и исполнительных механизмов; для расширения функциональных возможностей системы используются новые датчики и исполнительные механизмы, при этом, если выводов на имеющемся блоке не хватает, то заменяют основной блок более мощным или используют дополнительный электронный модуль, реализующий требуемые функции.

Анализ вышеизложенного позволяет выработать рекомендации для успешной разработки гибкой, расширяемой, полнофункциональной, легко модифицируемой системы управления двигателем следующего поколения.

Тип	M7	MS5	MS6	EDC7	EDC17	
Разрядность	бит	8	16	16	32	32
Мощность	MIPS	< 1	1	4	40	300
Транзисторы	млн.	< 1	< 1	< 1	7	25
Оперативная память	кбайт	64	128	512	500-1500	4000
Адресность		160	1900	5000 -1500*	6000 -1600*	8000
Кол-во входных контактов		35	55	70-86	89-141	180-200
		1988	1993	1997	2001	2009
		EU 2	EU 3	EU 4/5, Tier 3	EU 6, Tier 4	

**Рисунок 5** — Этапы развития аппаратного обеспечения системы электронного управления двигателем

1. Так как «постоянно изменяемой» основой ЭСУ двигателя является электронный блок управления, необходимо выбрать такую его конструкцию, которая позволит легко (с наименьшими затратами средств и времени) модифицировать систему в соответствии с актуальными требованиями законодательства, а также дополнять ее новыми возможностями в соответствии с запросами потребителей. Для этого необходимо разделить электронный блок управления на отдельно разрабатываемые модули, выполняющие свои строго определенные функции:

**модули входных сигналов и выходных ключей** — к ним подключены датчики и органы управления силовыми элементами системы (клапаны, насосы, форсунки и т.п.); **базовый модуль** — обеспечивает работоспособность двигателя, используя минимальное количество элементов, и реализует базовые функции управления для работы, в том числе в аварийном режиме;

**мощный (центральный) модуль** — выполняет сложные алгоритмы управления впрыском топлива для обеспечения экологических требований, предъявляемых к двигателю, улучшения экономичности, снижения шумности. Обрабатывает входные сигналы с дополнительных датчиков и управляет исполнительными механизмами (насос подачи мочевины, форсунка впрыска мочевины и т.п.) при помощи информационной шины, основанной на стандарте CAN (англ. Controller Area Network — сеть контроллеров). Используется для организации взаимодействия с другими электронными системами, а также для подключения внешнего компьютера для тарировки и диагностики.

Раздельное проектирование модулей как отдельных устройств и объединение их информационной шиной, для обмена информацией позволит наращивать (развивать) систему более гибко либо добавлением нового модуля, либо модификацией (заменой) имеющегося. Например, при использовании пьезофорсунок потребуются доработка алгоритма управления и замена модуля выходных ключей, при сохранении остальной структуры системы неизменной.

2. Мощный (центральный) модуль желательно разрабатывать не на микроконтроллере, а на микропроцессоре нового поколения — это обеспечит запас вычислительной мощности и позволит создавать программное обеспечение, используя всю мощь современных языков программирования в частности объектную модель, а также ускорит разработку программного обеспечения за счет распараллеливания работы. Появится возможность отрабатывать алгоритмы непосредственно на персональном компьютере (без использования дорогостоящих стендов) и относительно легко вносить изменения в программный код центрального модуля (копированием, а не перепрограммированием микроконтроллера) при окончательной настройке блока на двигателе.

Кроме того, такая схема проектирования системы позволит в процессе производства выполнять раздельную диагностику готовых модулей, упрощая настройку, ремонт и модернизацию системы управления двигателем на автомобиле.

3. Для построения перспективных моторов высокого экологического уровня нельзя использовать устаревшую конструкцию двигателя. Она не соответствует жестким тре-

бованиям к надежности, шуму и вибрациям, массе и габаритам, эксплуатационному ресурсу современного мотора, а также ограничивает возможности дальнейшего развития системы за счет оптимизации алгоритмов управления.

4. Необходимо использовать материалы и комплектующие высокого качества, а также современные технологии контроля качества и сборки двигателей.

Таким образом, создание новой, расширяемой, полнофункциональной, легко модифицируемой системы управления современным двигателем невозможно без использования качественных материалов, применения новых технологий обработки, сборки и контроля качества изделия, использования накопленного опыта отечественной науки и техники по улучшению конструкции механической и электрической частей двигателя.

Использование зарубежной электронной аппаратуры управления препятствует развитию отечественных моторо- и автопроизводителей, так как предлагаемые нам системы, содержат базовый (сокращенный) набор функций без наличия возможности самостоятельно добавлять новые возможности, использовать дополнительные элементы (например, датчики качества топлива и засоренности масла) и топливную аппаратуру других производителей (это может сделать только разработчик электронной системы управления двигателем). Без использования новых функций и дополнительных подсистем в управлении двигателем невозможно развитие всей бортовой электроники.

#### Выводы

1. Для быстрой модификации существующих и добавления новых потребительских функций в электронную систему управления двигателем, а также для своевременного учета постоянно возрастающих требований потребителей и законодательства, необходимо использовать электронный блок управления собственной разработки.

2. Модульная конструкция основных элементов системы управления обеспечит в будущем возможность легко расширять ее возможности и модифицировать их в соответствии с перспективными направлениями.

3. При разработке центрального модуля системы в качестве основы необходимо использовать электронную вычислительную машину, построенную на современном производительном процессоре.

4. В качестве механической части системы управления необходимо использовать дизельный двигатель, построенный и разработанный с учетом передовых требований на основе современных решений и с использованием материалов и комплектующих высокого качества.

#### Список литературы

1. Шульц, О. Электронное управление дизельным двигателем грузовых автомобилей и специальных машин / Олег Шульц, Robert Bosch. — GmbH Diesel Systems.
2. Ritt, H. EDC7 Common Rail Diagnose / Harald Ritt, Ludwig Wurst. — MAN Nutzfahrzeuge. — Marz 2006.

Klimuk A.C., Supron A.M.

#### Choice foundation for building full-featured, easily modifiable engine management system

Reviewed and analyzed the history of the development of electronic control diesel engine in order to identify patterns and develop recommendations for development of extensible, full-featured, easy to be modified engine management system the next generation.

Поступила в редакцию 24.01.2011