

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХТАКТНЫМИ ДИЗЕЛЯМИ СЕМЕЙСТВА RT-flex

А.А. Обозов, д.т.н., нач. экспериментального подразделения
ЗАО «УК "Брянский машиностроительный завод"»

На недавно прошедшем конгрессе CIMAC в Бергене (Норвегия) компания «Wartsila» сообщила о разработке нового поколения систем впрыска и привода выпускного клапана для двухтактных дизелей семейства RT-flex¹. По сравнению с предыдущими системами новые имеют ряд преимуществ: в них заложены более совершенные конструкторско-технологические решения, повышена надежность структурных элементов и улучшены алгоритмы управления.

Судовые малооборотные дизели с электронным управлением ведущих разработчиков данного вида продукции — компаний «MAN Diesel & Turbo» (Германия–Дания), «Wartsila» (Швейцария), «Mitsubishi» (Япония) стали появляться в конце прошлого столетия и в настоящее время за ними закрепилась репутация надежных двигателей, обладающих рядом преимуществ по сравнению с двигателями обычной конструкции (с механическим управлением от распределительного вала) [1–3]. В течение текущего десятилетия уже значительное число эксплуатирующихся судовых малооборотных дизелей с электронным управлением находится под пристальным вниманием фирм-разработчиков, при этом продолжается совершенствование их конструкции и алгоритмов управления. Новое поколение системы впрыска и привода выпускного клапана для двухтактных дизелей с электронным управлением семейства RT-flex предложила компания «Wartsila» [4].

Новая разработка представляет интерес в плане подготовки производства дизелей семейства RT-flex на БМЗ в соответствии с лицензионным соглашением, подписанным в 2008 г. между ЗАО «Трансмашхолдинг» и «Wartsila».

При разработке топливоподающей системы компания «Wartsila» руководствовалась определенными требованиями, которым должна удовлетворять система нового поколения:

- высокое давление впрыскивания топлива, независимое от скоростного режима работы двигателя и цикловой подачи топлива;
 - точное (прецизионное) регулирование цикловой подачи топлива (в том числе на режимах экстремально малых цикловых подач, соответствующих режимам самого малого хода судна);
 - гибкость в управлении моментом подачи топлива;
 - возможность выполнения многофазного впрыскивания топлива (в одном рабочем цикле);
 - обеспечение минимальной межцилиндровой и межцикловой нестабильности подачи топлива (по количеству впрыскиваемого топлива и по фазовым характеристикам процесса впрыскивания);
 - возможность взаимодействия с другими подсистемами двигателя для достижения максимальной экономичности двигателя и минимальных вредных выбросов с отработавшими газами.
- Существуют также дополнительные требования. Применение системы электронного управления топливоподачей приводит к значительному относительному удорожанию малооборотных дизелей малой размерности (RT-flex 35–50). Поэтому была поставлена цель создания системы, стоимость которой была бы ниже стоимости обычной механической системы (с управлением от распределительного вала).
- В основе идеологии создания новой системы лежали следующие принципы:
- заимствование хорошо зарекомендовавших себя технических решений для четырехтактных среднеоборотных дизелей;
 - расположение органов управления как можно ближе к топливным форсункам для более качественного управления процессом топливоподачи;
 - применение управляемого многостадийного впрыскивания топлива для улучшения экологических характеристик двигателей;
 - создание технологически не сложной для изготовления конструкции, включающей стандартные изделия.

В разработанной системе нового поколения по-прежнему используются приводимые от дви-

¹ Внедрение данных систем запланировано на двигателях с диаметром цилиндров 350–500 мм.

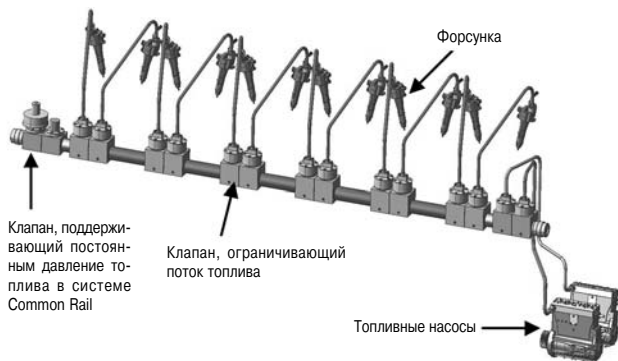


Рис. 1. Топливная система Common Rail нового поколения

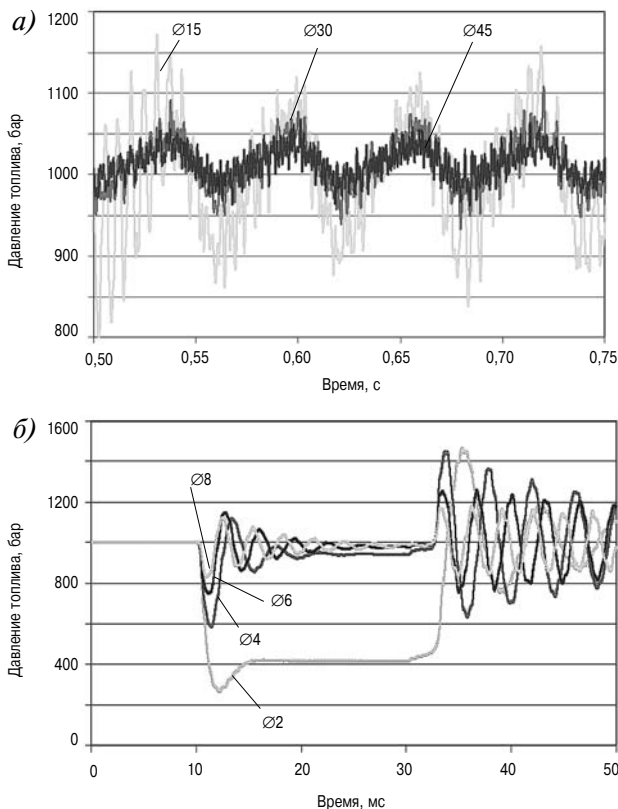


Рис. 2. Изменение давления топлива:

a — в трубопроводе системы Common Rail в зависимости от внутреннего диаметра трубопровода; *б* — в трубопроводе перед форсункой в зависимости от внутреннего диаметра трубопровода подвода топлива к форсунке

гателя насосы, подающие топливо под высоким давлением в трубопровод (магистраль) Common Rail (рис. 1). Система содержит типовые элементы, описание которых приводится ниже.

Компания «Wartsila» провела расчетно-экспериментальные исследования по оптимизации конструктивных элементов системы. Было определено, что амплитуда колебаний давления топлива в трубопроводе Common Rail в существенной степени зависит от внутреннего диаметра трубопровода (рис. 2, *a*). Например, при диаметре трубопровода 15 мм она достигает



Рис. 3. Топливная форсунка двухтактного двигателя RT-flex нового поколения

приблизительно 400 бар (при среднем уровне давления топлива 1000 бар). При диаметре 45 мм амплитуда снижается до 100 бар, что, как полагает фирма, вполне приемлемо. Было выполнено исследование влияния внутреннего диаметра трубопровода для подвода топлива к форсунке на величину падения давления перед форсункой. Падение давления топлива происходит в момент впрыскивания топлива в цилиндр двигателя (рис. 2, *б*).

Как видно из рис. 2, *б*, при диаметре форсуночного трубопровода 4–6 мм значительного «провала» давления в процессе впрыскивания не наблюдается, то есть данные диаметры являются оптимальными.

Электронно-управляемые форсунки двигателя (рис. 3) были разработаны компанией «Wartsila» совместно с компанией «L'Orange GmbH». «Сердцевина» форсунки (соленоид и механизм управления) была заимствована от хорошо зарекомендовавшей себя форсунки для среднеоборотных дизелей. Форсунка была оптимизирована под камеру сгорания двухтактного дизеля. Принцип работы такой форсунки основан на точном управлении давлением над запирающей иглой форсунки с использованием быстродействующего пилотного клапана, приводимого в движение соленоидом. Он расположен в верхней части форсунки и имеет охлаждение, необходимое для увеличения срока его службы. Нижняя часть форсунки имеет специфическую двухходовую конструкцию с неохлаждаемым соплом, выступающим в камеру сгорания. На рис. 4 представлена осциллограмма процесса двухфазного впрыскивания топлива.

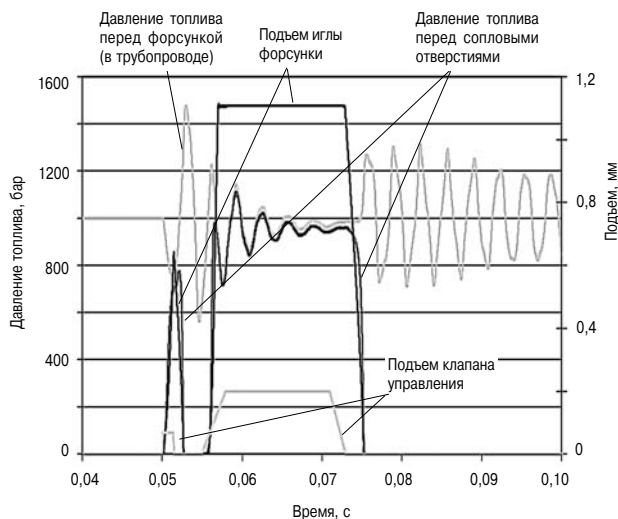


Рис. 4. Изменение основных параметров топливopдачи в процессе впрыскивания топлива

Как отмечают специалисты компании «Wartsila», задержка от момента подачи управляющего сигнала на открытие форсунки до момента начала подъема иглы форсунки и впрыскивания топлива не превышает 2,5 мс, а от момента подачи сигнала на закрытие форсунки до ее закрытия — 2 мс. Таким образом, предлагаемая система топливopдачи в состоянии обеспечить многостадийное впрыскивание топлива.

На рис. 5 представлен общий вид многоэлементных топливных насосов высокого давления. На рисунке также показаны насосы сервомасла системы управления выпускными клапанами, которые объединены с топливными насосами в единый блок.

Данный тип топливных насосов высокого давления успешно применяется на двигателях «Wartsila» с 2001 г. Насосы являются многоэлементными, высокооборотными с дроссельно-клапанным управлением. Они доказали свою работоспособность при использовании на среднеоборотных двигателях, обеспечивая подачу топлива в систему под давлением 1800 бар. Эти насосы хорошо подходят и для малооборотных двухтактных дизелей с диаметром цилиндров 350–500 мм. Характерными особенностями насосов являются их компактность (благодаря высоким оборотам) и относительно низкая стоимость, обусловленная большим объемом программы производства. На двухтактных малооборотных дизелях топливные насосы высокого давления работают при частоте вращения 2300 об/мин (на номинальной частоте вращения дизеля), подавая при этом топливо в систему под давлением 1200 бар. Для управления производительностью насоса и поддержания давления топлива в системе на постоянном уровне используется дроссельный клапан, имеющий привод от соленоид-

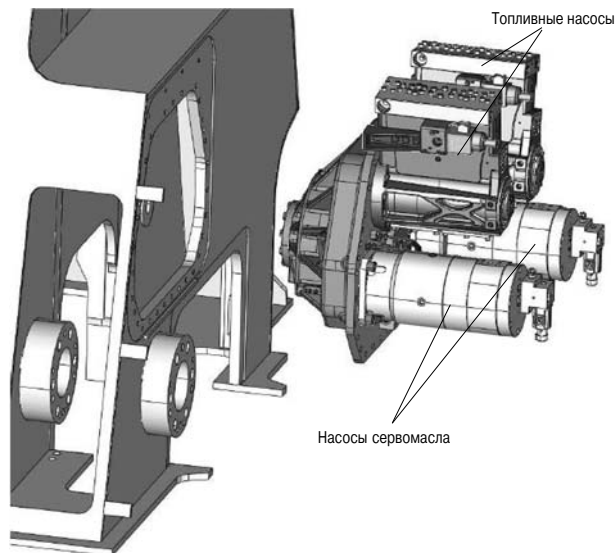


Рис. 5. Многоэлементные высокоскоростные топливные насосы высокого давления и насосы сервомасла для управления выпускными клапанами

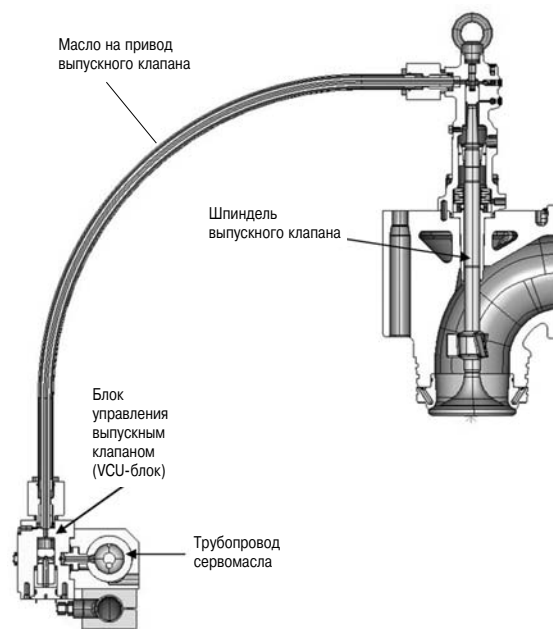


Рис. 6. Устройство гидропривода выпускного клапана дизеля типа RT-flex

да, а также датчик, отслеживающий давление топлива в системе Common Rail.

В системе Common Rail установлены еще два жизненно необходимых элемента (см. рис. 1): клапан-ограничитель потока (FLV-клапан) и клапан-ограничитель максимального давления. Функциональное назначение клапанов ясно из их названия. Подробное описание конструкции клапанов приводится в [4].

Все существующие двигатели «Wartsila» типа RT-flex имеют электронное управление системой гидравлического привода выпускных клапанов, в которой используется в качестве силового



Рис. 7. Изменение основных параметров системы привода выпускного клапана дизеля типа RT-flex нового поколения в процессе хода клапана

привода поступающее в систему масло (сервомасло) под высоким давлением (80–200 бар). Устройство гидропривода выпускного клапана дизеля типа RT-flex приведено на рис. 6.

В целом система привода выпускных клапанов включает имеющие привод от двигателя два насоса сервомасла (см. рис. 5), трубопровод (магистраль) сервомасла, индивидуальный для каждого цилиндра блок управления выпускным клапаном (VCU-блок) и гидравлическое устройство привода шпинделя клапана (на рис. 6 справа), которое связано с VCU-блоком масляной трубой высокого давления. Посредством масла, находящегося в трубе, осуществляется динамическое взаимодействие VCU-блока и устройства привода шпинделя клапана. VCU-блок содержит поршень двухходового действия. В течение первого хода осуществляется воздействие на выпускной клапан маслом под высоким давлением и совершается начальная стадия открытия клапана. В течение второго хода процесс открытия выпускного клапана продолжается при резко уменьшающемся в системе давлении масла. Параметры работы системы привода выпускного клапана приведены на рис. 7. Специалисты компании «Wartsila» отмечают, что в результате проведения расчетных и экспериментальных работ удалось создать систему привода выпускного

клапана, обеспечивающую закон движения клапана, соответствующий теоретически заданному (см. рис. 7). При работе системы наблюдается умеренная пульсация давления сервомасла, которая составляет менее 20 бар. Максимальный уровень давления масла на привод клапана достигает 550 бар (в начальный момент открытия выпускного клапана). Расход сервомасла составляет 70 л/мин.

Заключение

В результате разработки второго поколения систем электронного управления процессами топливоподачи и ходом выпускного клапана, как отмечают специалисты компании «Wartsila», создана система для размерности дизелей с диаметром цилиндров 350–500 мм, которая обладает рядом достоинств. При относительно невысокой стоимости она позволяет в полной мере реализовать преимущества концепции электронного управления дизелей: гибкое оптимальное управление процессами топливоподачи и газораспределения, обеспечивающих минимальный расход топлива и приемлемые экологические характеристики двигателя, к которым в настоящее время выдвигаются все более жесточенные требования.

В статье использованы иллюстрации из оригинальной презентации доклада на конгрессе CIMAC [4].

Литература

1. Обозов А.А. «Интеллектуальный двигатель» производства ОАО «Брянский машиностроительный завод» — взгляд в будущее // Двигателестроение. — 2003. — № 4. — С. 31–34.
2. Обозов А.А. ME-V: Новый двухтактный двигатель (по страницам журнала «Diesel Facts») // Двигателестроение. — 2007. — № 2. — С. 53–55, 57.
3. Васюков Е.С., Чернявский О.А., Обозов А.А. Судовые малооборотные дизели BM3-Wartsila с электронным управлением типа RT-flex // Судостроение. — 2008. — № 5. — С. 35–38.
4. Elias Boletis, Andreas Kyrtatos, Turhan Yildirim, Yongfeng Jia. A new fuel injection and exhaust valve actuation system for two-stroke engine family in the 30 to 50 cm bore segment. Information of CIMAC Congress 2010, Bergen, Paper № 101.