

ОБЗОР ДОКЛАДОВ ПО СИСТЕМАМ «COMMON RAIL» на конгрессе CIMAC–2004, Киото

Материал подготовил к.т.н. Г.В. Мельник

СИСТЕМА COMMON RAIL ДЛЯ МОЩНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Требования к выбросам NO_x и частиц для мощных дизельных двигателей продолжают ужесточаться. Одним из главных средств достижения требуемых показателей является использование систем управляемого впрыска, и в первую очередь — систем типа Common Rail. В докладе фирмы R. Bosch сравниваются различные системы впрыска с электронным управлением, и описывается модульная система Common Rail нового типа для высоко- и среднеоборотных двигателей. Эта система предназначена для двигателей с цикловой подачей от 3000 до 5000 мм^3 .

Одна из главных целей совершенствования конструкции крупных двигателей — выполнение требований новых стандартов на допустимые выбросы газообразных и твердых частиц (табл. 1).

Эти требования должны удовлетворяться при условии сохранения:

- надежности и ресурса;
- расхода топлива;
- допустимого уровня начальных затрат и эксплуатационных расходов.

При этом особое значение приобретает использование современных систем топливоподачи.

Основные требования

При разработке модульной системы был использован опыт создания:

- систем электронного впрыска для автомобильных двигателей;

- систем впрыска топлива для неавтомобильных высокооборотных (цилиндровая мощность > 75 кВт при номинальной скорости 1500–2500 об/мин) и среднеоборотных (цилиндровая мощность < 300 кВт при номинальной скорости 720–1200 об/мин) двигателей.

Создаваемая система должна удовлетворять следующим требованиям:

- высокая надежность и долговечность;
- обеспечение заданных значений ресурса и срока службы;
- срок службы распылителя — не менее 6000 ч;
- срок службы остальных компонентов — не менее 12 000 ч;
- электронное управление дозированием топлива, законом топливоподачи и давлением впрыска;
- достаточная степень универсальности;
- взаимозаменяемость с существующими системами;
- возможность применения на рядных и V-образных двигателях с числом цилиндров от 6 до 20;
- пригодность для модернизации существующих систем;
- возможность использования различных видов топлива, в том числе: керосин, дизельное топливо и флотский мазут;
- приемлемая себестоимость.

Сравнение различных систем

В табл. 2–4 приводятся результаты сравнения обычных систем впрыска и Common Rail по основным параметрам. Под обычными здесь понимаются системы, где впрыск производится под действием кулачка, топливоподача регулируется электромагнитным клапаном, а давление топлива зависит от скорости и нагрузки. В системе Common Rail давление топлива всегда постоянно. Эта система высокого давления без гидравлического усиления.

Из приведенного сравнения следует, что возможности «обычной» системы Common Rail типа коллектор–трубка–форсунка ограничены. Пульсации давления в трубках и форсунках, а также более высокая стоимость (особенно в двигателях более мощных, нежели различные мо-

Таблица 1

**Предельно допустимые выбросы
загрязнений в выбросах дизелей
(кроме автомобильных)**

Категория двигателей	Требования к выбросам	ПДВ, г/кВт·ч	Год
Высокооборотные, $n > 1500$ об/мин	Tier 2 (>560 кВт)	$\text{NO}_x < 6,40$ $\text{PM} < 0,20$	2006
	Tier 3 (>560 кВт)	$\text{NO}_x < 4,00$ $\text{PM} < 0,20$	2006
	Tier 4	$\text{NO}_x < 0,40$ $\text{PM} < 0,02$	2011–2014
Среднеоборотные, $n < 1200$ об/мин	Tier 2 ж/д США	$\text{NO}_x < 4,00$ $\text{PM} < 0,27$	2005
	Tier 3 ж/д, судовые США	$\text{NO}_x < (?)$ $\text{PM} < (?)$	предл. ЕРА 2004

Таблица 2

Контрольные показатели системы для крупных дизелей

Категория двигателей	Требования к выбросам	ПДК г/кВт·ч	Год	Система впрыска
Высокооборотные, $n > 1500$ об/мин	Tier 2 (>560 кВт)	$NO_x < 6,40$ $PM < 0,20$	2006	Блочные/индив. ТНВД > 180 МПа Common Rail < 180 МПа + множественный впрыск
	Tier 3 (<560 кВт)	$NO_x < 4,00$ $PM < 0,20$	2006	Блочные/индив. ТНВД > 180 МПа Common Rail < 160 МПа + множественный впрыск
	Tier 4	$NO_x < 0,40$ $PM < 0,02$	2011 2014	Common Rail < 180 МПа: множественный впрыск: профилирование кривой впрыска
Среднеоборотные, $n < 1200$ об/мин	Tier 2 ж/д США	$NO_x < 7,40$ $PM < 0,27$	2005	Блочные/индив. ТНВД > 180 МПа Common Rail < 160 МПа + множественный впрыск
	Tier 3 ж/д США судовые США	$NO_x < (?)$ $PM < (?)$	предл. ЕРА 2004	Common Rail < 180 МПа: множественный впрыск: профилирование кривой впрыска

Таблица 3

Сравнение параметров обычных систем впрыска и Common Rail для мощных двигателей

Параметр	Обычная система	Система Common Rail
Максимальное давление впрыска	<180 МПа (ограничено размерами кулачка и конструкцией привода)	< 180 МПа
Пики давления	< + 10 МПа	> 20 МПа
Возможность регулирования давления впрыска	Нет	Есть
Множественный впрыск	Возможности ограничены	Ограничения связаны с конструкцией гидросистемы
Профилирование кривой впрыска	Треугольный закон — возможность задания кривой в функции давления с 2-ступенчатым закрытием электромагнитного клапана	Прямоугольный закон — ограниченная возможность управления подъемом иглы
Возможность модернизации	Ограничена исходной конструкцией	Также ограничена исходной конструкцией, но в меньшей степени
Стоимость	Базовая	Выше базовой, особенно при использовании трубок и коллекторов с двойными стенками

дификации автомобильных дизелей) — таковы причины, заставившие конструкторов искать новые решения.

При этом была поставлена задача создания более гибкой системы, лишенной упомянутых выше недостатков, а именно — модульной системы Common Rail (MCRS).

Модульная система Common Rail

Для сглаживания пульсаций давления в ТНВД встроена демпфирующая емкость (рис. 1). Объем коллектора разделен на отдельные объемы, встроенные в форсунки. Тем самым уменьшается расстояние между аккумулятором топлива и со-

плами, что способствует значительному снижению пульсаций. ТНВД и форсунки соединены трубками высокого давления с внутренним диаметром 3 и 4,5 мм. Входные дроссели форсунок препятствуют распространению остающихся пульсаций давления по топливной системе.

Объем демпферной полости каждой форсунки в 50–70 раз превышает объем максимальной цикловой подачи.

Снижение уровня пульсаций давления в трубках между ТНВД и форсунками позволило встроить редуцирующий клапан и датчик давления в аккумулятор высокого давления.

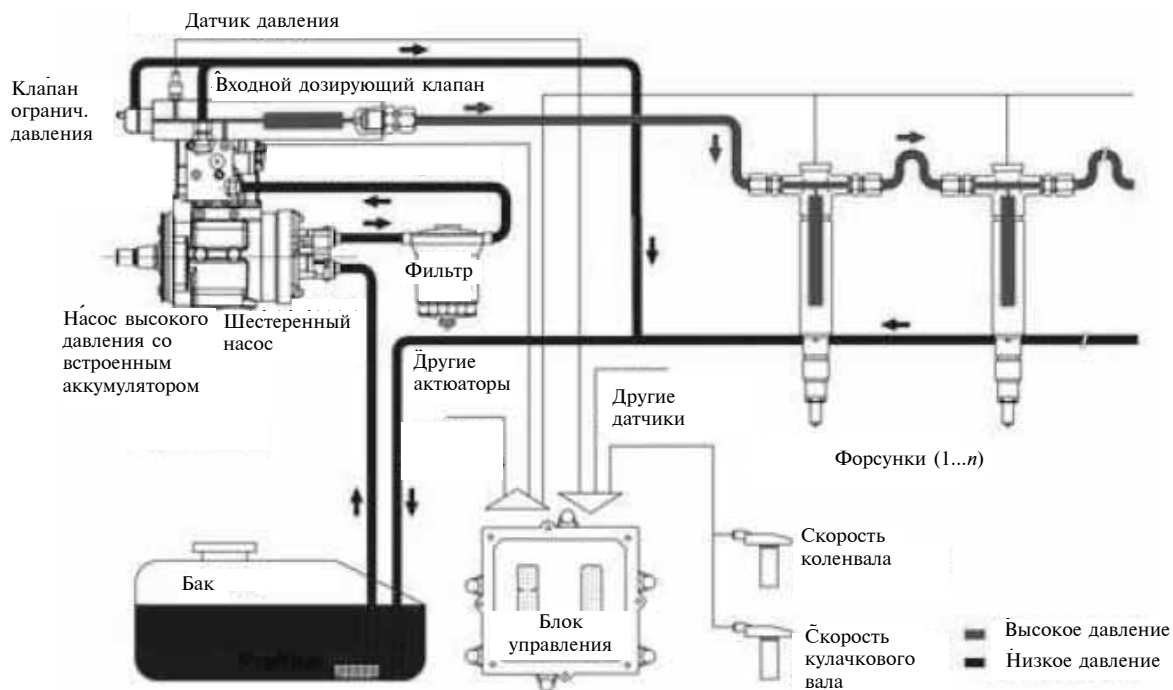


Рис. Модульная система Common Rail для мощных высокооборотных дизелей

Для высокооборотных двигателей оптимальной является схема с блочным насосом высокого давления на 2–5 секций, приводной вал которого вращается со скоростью 1000 или 3000 об/мин.

В среднеоборотных двигателях используются индивидуальные внешние насосы высокого давления. Они имеют собственные аккумуляторы со встроенными редуцированными клапанами и датчиками давления. Размеры форсунок позволяют при этом организовать боковой подвод топлива (рис.).

Конструкция со встроенными управляющими клапанами, предназначенными для будущих двигателей грузовых автомобилей, позволяет приступить к созданию форсунок со встроенными аккумуляторами топлива. Такой управляющий

клапан отличается оптимальной компоновкой, он имеет высокое быстродействие и гидравлически уравновешен. Клапан устанавливается в непосредственной близости от сопла, что позволяет свести к минимуму влияние пульсаций давления и массы на характеристики переключения сопла.

С обратной стороны седла иглы форсунки находится камера с регулируемым давлением, впускной и выпускной жиклеры, встроенные в плиту между электромагнитным клапаном и соплом. Электромагнитный клапан управляет открытием и закрытием иглы форсунки, и таким образом контролирует впрыск. Электромагнитный клапан, действующий по этому принципу, разработан применительно к трем типоразмерам фор-

Таблица 4

Сравнение обычной и модульной систем Common Rail

Параметр/система	Система Common Rail	MCRS
Пики давления	> + 20 МПа	< + 20 МПа
Множественный впрыск	Возможности ограничены (из-за влияния соотношения внутреннего диаметра и длины трубок)	Суммарное запаздывание > 0,4 мс (инерция клапана и сопла)
Возможности замены обычной системы	Возможны проблемы с совместимостью коллектора (или коллекторов) и с испытаниями системы для различных конфигураций двигателей (L6-V18)	Простая замена — испытываются только компоненты системы (конфигурация двигателя влияния не оказывает)
Безопасность	Экранированные трубки и коллектор (или коллекторы)	Экранированные трубки (диаметр трубок меньше, чем в предыдущем случае)
Стоимость	Базовая	Больше примерно на 30 %

**Основные характеристики семейства
дизель-генераторов MARK-30B**

Размерность, мм	300 × 420				
Частота вращения, об/мин	750 / 720				
Частота генератора, Гц	50 / 60				
Число цилиндров	6L	12V	14V	16V	18V
Мощность генератора, кВт	2700/ 2650	5400/ 5180	6300/ 6050	7200/ 6910	8100/ 7780

сунок, в сумме перекрывающих диапазон цикловых подач от 500 до 3000 мм³.

Моделирование пульсаций в гидросистеме для среднеоборотного двигателя показало преимущества модульной системы Common Rail по сравнению с «обычной». Сравнение пульсаций, измеренных в обычной и модульной системах Common Rail, показывает несомненное преимущество последней в части не только пульсаций и скорости впрыска, но и других показателей (табл. 4).

Это преимущество еще более заметно после окончания впрыска.

Свойственное модульной системе уменьшенное расстояние между встроенным аккумулятором и соплом влияет также на скорость впрыска в первой фазе.

Путем соответствующего конфигурирования впускного и выпускного жиклеров можно повлиять на скорость впрыска таким образом, чтобы снизить скорость нарастания давления в цилиндре. В модульной системе можно применить также пилотный впрыск для дальнейшего снижения градиента давления в цилиндре.

Величина снижения давления топлива к концу впрыска в модульной системе зависит только от объема форсунки и сечения впускного жиклера. В обычной системе Common Rail на величину цикловой подачи сильное влияние оказывают также внутренний диаметр и длина топливной трубки.

Положительный опыт применения модульной системы Common Rail на высокооборотных и среднеоборотных двигателях позволил внедрить ее в серийное производство в 2005 году.

Выводы

Применение модульной системы Common Rail обеспечивает возможность создания ряда систем электронно-управляемого впрыска нового поколения, удовлетворяющих экологическим требованиям Tier 3, а в перспективе — Tier 4.

**НОВАЯ СИСТЕМА COMMON RAIL ДЛЯ
ДВИГАТЕЛЕЙ MARK-30B ФИРМЫ MITSUBISHI**

Непрерывный рост требований к экологической чистоте двигателей сопровождается общей тенденцией к ослаблению регулирования рынка электроэнергии. В этих условиях к дизелю как одному из основных источников распределенного энергоснабжения предъявляются требования одновременного снижения вредных выбросов и повышения топливной экономичности. С этой целью фирмой «Mitsubishi Heavy Industries Yokohama» был разработан двигатель типа MARK-30B для привода генераторов.

КПД этого двигателя на выходном фланце составил 46,8 % при максимальном давлении сгорания 25 МПа и среднем эффективном давлении 2,5 МПа. Конструкция двигателя обеспечивает также снижение эксплуатационных расходов за счет увеличения межремонтных интервалов.

Система Common Rail нового типа

В последнее время все большую актуальность приобретает задача снижения не только содержания NO_x, но и частиц в отработавших газах дизеля при условии сохранения его эффективного КПД. Обычная система Common Rail способствует снижению дымления на малых нагрузках, но на выбросы NO_x она влияет слабо или даже отрицательно в силу присущего ей большого значения скорости впрыска. Этот недостаток может быть преодолен за счет регулирования начального значения скорости впрыска.

С 2001 года фирма «Mitsubishi Heavy Industries» (МН) работала над созданием системы Common Rail нового поколения, которая снижала бы дымление на малых нагрузках, обеспечивая в то же время управление скоростью впрыска. Первый образец новой системы был создан и испытан в 2002 году, затем он был усовершенствован, и в 2004 году испытан на опытном 6-цилиндровом двигателе.

Создаваемая система должна была обеспечить:

- давление впрыска 180 МПа;
- объем цикловой подачи: 4,4 см³ при номинальной мощности (максимум 6,6 см³);
- возможность управления скоростью впрыска для снижения NO_x;
- возможность работ на тяжелых сортах топлива;
- отсутствие дымления на малых нагрузках;
- возможность впрыска водотопливной эмульсии для снижения содержания NO_x более чем на 50 %;
- взаимозаменяемость со стандартной системой топливоподачи двигателей МН серии KU.

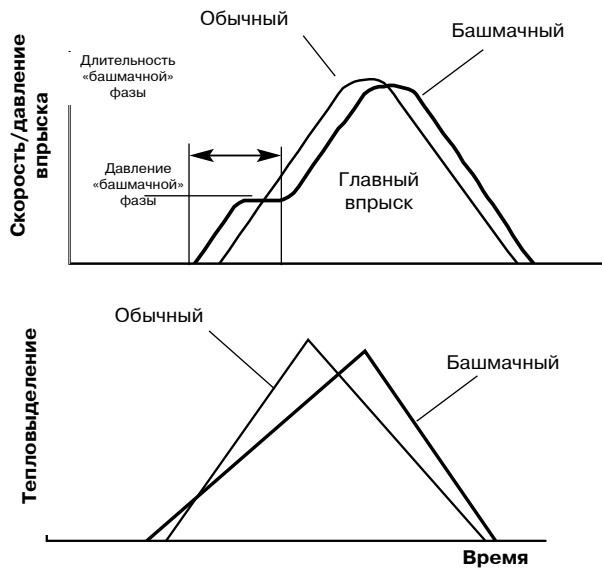


Рис. 1. Различия между обычным и «башмачным» впрыском

«Башмачный» впрыск

Обычная система Common Rail обеспечивает закон впрыска, близкий к прямоугольному, что приводит к росту NO_x при больших нагрузках. Для одновременного снижения NO_x и дымности нужно снизить скорость впрыска на начальном этапе, что может быть достигнуто за счет применения так называемого «башмачного» впрыска (названного так из-за сходства формы кривой впрыска на начальном этапе с носком башмака).

Различия между обычным и «башмачным» впрыском приведены на рис. 1. Длительность «башмачного» впрыска оптимизирована таким образом, чтобы обеспечить «мягкое» сгорание, т. е. плавное повышение давления перед последующим пиком тепловыделения.

Новая система Common Rail, так называемая двойная, изначально создавалась применительно к индивидуальным топливным насосам и коллекторам соответственно высокого и низкого давления. Впрыском управляют два отдельных электромагнита. Система предусматривает раздельное задание уровней высокого и низкого давления, что позволяет реализовать законы впрыска любой сложности.

Привод главного клапана электрогидравлический, что позволяет использовать сильно подогретое тяжелое топливо. Рабочая жидкость подается насосом высокого давления (20 МПа). Если оба электромагнитных клапана управляются одним сигналом, то закон впрыска будет тот же, что и в обычной системе Common Rail, где «башмачный» впрыск может быть реализован с помощью задержки открытия электромагнитного клапана на стороне высокого давления.

В системе используется электронный блок управления (ECU), способный управлять электромагнитами общим числом до 36 (в том числе не менее чем двумя электромагнитами одновременно), что позволяет применить его на 18-цилиндровом двигателе. Кроме того, ECU управляет двумя регулируемыми клапанами — высокого и низкого давления.

Главный блок управления впрыском, куда входят два регулирующих клапана, с головкой цилиндра конструктивно не связан. В форсунке использован обычный впрыскивающий клапан, связанный с главным блоком управления впрыском через трубку высокого давления. Для удобства переоборудования двигателя в нем использована серийная головка цилиндра.

Кроме того, система совместима с ранее разработанной МНТ системой впрыска водотопливной эмульсии для снижения содержания NO_x более

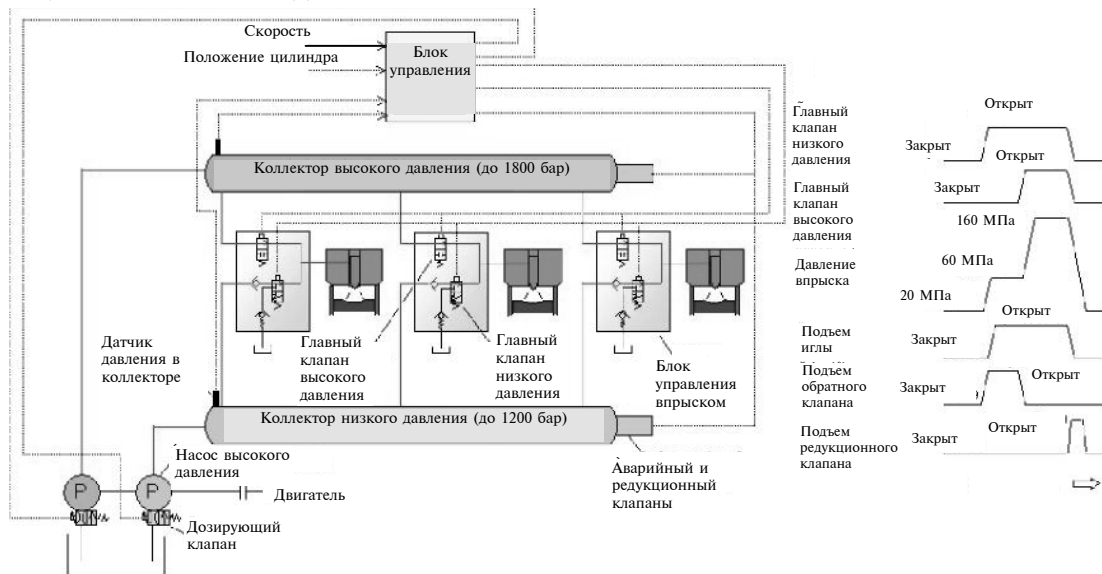


Рис. 2. Схема системы Common Rail с двумя коллекторами

чем на 50 %. Хотя для этого, вообще говоря, требуется дополнительный водораспределитель, для модернизации системы Common Rail он не обязателен, поскольку в этом качестве может быть использован обычный впрыскивающий клапан.

Характеристики впрыска новой системы Common Rail

Давление в магистрали высокого и низкого давления составляет соответственно 180 и 60 МПа.

Испытывался также упрощенный вариант системы без насоса и коллектора низкого давления, в котором низкое давление создавалось путем отбора из магистрали высокого давления через калиброванное отверстие. Характеристики впрыска при этом мало отличались от основного варианта.

Испытания двигателя типа 6V MARK-30B с опытной системой (упрощенного типа) проводились при частоте вращения 750 об/мин и среднем эффективном давлении 1,88 МПа. Длительность начальной фазы впрыска принималась равной 9 и 12°, при этом опережение соответственно увеличивалось так, чтобы максимальное давление сгорания оставалось постоянным. Давление в магистрали высокого и низкого давления составляло соответственно 160 и 60 МПа. При увеличении длительности начальной фазы впрыска период задержки самовоспламенения укорачивается, а давление сгорания нарастает более плавно.

При длительности начальной фазы впрыска 9° содержание NO_x снижается примерно на 5 %, а удельный расход топлива не меняется. При увеличении длительности начальной фазы впрыска до 12° содержание NO_x снижается примерно на 20 % при небольшом росте расхода топлива.

Дело в том, что башмачный впрыск подавляет сгорание на начальной фазе, поэтому снижение NO_x происходит несмотря на увеличение угла опережения впрыска.

Итак, с помощью данной системы Common Rail может быть достигнуто 15 % снижение NO_x при том же расходе топлива, или снижение расхода топлива на 2 % при том же уровне NO_x.

Отсутствие дыма

Высокий уровень давления впрыска, свойственный Common Rail и не зависящий от нагрузки, обеспечивает отсутствие дыма на малых нагрузках.

Как показывают результаты измерений, давление впрыска при нагрузке менее 40 %, когда появляется видимый дым, примерно в два раза выше, чем в стандартной системе.

Снижение дымности на малых нагрузках достигает 60–70 % по сравнению с обычной системой за счет более высокого давления впрыска, и можно рассчитывать, что дальнейшая оптимизация процесса позволит обеспечить работу без

видимого дыма во всем диапазоне мощности двигателя.

Множественный впрыск

Для достижения уровня требований ЕРА Tier 3 проводились испытания системы множественного впрыска транспортного двигателя. При этом учитывалась возможность распространения результатов также и на среднеоборотные двигатели с Common Rail. Испытания показали, что пилотный впрыск топлива в количестве 0,2 см³/цикл может быть осуществлен с помощью одного только электромагнитного клапана низкого давления за 30–45° ПКВ до главного впрыска. Последний производился через два электромагнитных клапана, работающих синхронно. Испытания показали, что при всех нагрузках система может работать устойчиво даже при уменьшении угла между пилотным и главным впрыском до 5°.

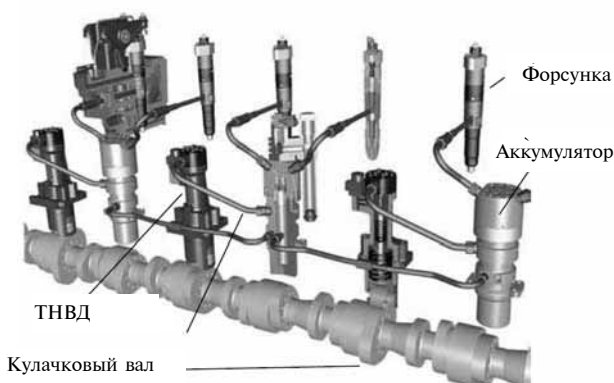
Наличие двух независимо управляемых электромагнитных клапанов создает возможность дальнейшей оптимизации процессов впрыска в целях снижения NO_x и дымности двигателей на тяжелом топливе.

СИСТЕМА COMMON RAIL ДЛЯ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА ТЯЖЕЛОМ ТОПЛИВЕ

На Конгрессе CIMAC-2004 был представлен доклад фирмы «Wartsila», посвященный созданию и совершенствованию первой в мире (по утверждению авторов) промышленной системы Common Rail для среднеоборотных дизелей, работающих на тяжелом топливе. Эта система была установлена на трех моделях двигателей «Wartsila».

Идея системы высокого давления с электронным управлением выдвигалась давно, однако потребовалось немало времени для разработки надежных и быстродействующих клапанов и столь же надежной электроники. Применительно к мощным двигателям, работающим на тяжелом топливе, нужно было, кроме того, решить проблемы, связанные с высокой температурой и большими расходами топлива. Проблемы фильтрации топлива вначале также были недооценены.

Топливные насосы высокого давления (ТНВД) приводятся от кулачкового вала с двойными кулачками, причем каждый насос работает на два цилиндра. ТНВД управляются электромагнитными клапанами, расположенными на линии всасывания. Каждый ТНВД заполняет сначала аккумулятор, а каждый аккумулятор работает, в основном, на две форсунки. Однако все аккумуляторы соединены между собой кол-



лектором Common Rail, выравнивающим давление в системе. Топливо дозируется золотником. Золотник управляется маслом контура управления, расход которого регулируется электромагнитным клапаном. Для облегчения пуска при отсутствии электропитания насос управляющего масла приводится от двигателя. Игла форсунки управляется давлением топлива в полости иглы, и, кроме того, поршнем, который при определенных условиях блокирует открытие иглы силой давления топлива. Колебания давления топлива в системе оказались в итоге значительно ниже значения ± 100 бар, принятого в качестве предельно допустимого.

Описанные ниже наблюдения основаны на опыте работы трех судовых двигателей, один из которых (Wartsila 46), в частности, проработал более 8000 часов на судне.

Эрозия

Несмотря на фильтрацию тяжелого топлива, с помощью автоматических 10-микронных фильтров, в нем остается достаточное количество твердых частиц, способных вызывать абразивный износ деталей, особенно клапанных седел. Дело в том, что поднятие клапана на несколько микрон достаточно для того, чтобы через зазор пошло топливо с частицами, размер которых соизмерим с размером зазора, царапающими его поверхность. При большом открытии клапана износ незначителен. При закрытии клапана картина повторяется.

Золотник

Вначале срок службы стальных золотников, движущихся в стальных втулках, не превышал нескольких сотен часов. В результате износа площадь седла клапана увеличивалась настолько, что он переставал закрываться. Поэтому пришлось в три раза поднять давление посадки и несколько изменить геометрию седла.

После этого борозды исчезли, а поверхность седла продолжала оставаться полностью функциональной, однако унос материала продолжался. Очевидно, что скорость износа сильно за-

висит от содержания частиц в топливе, и в этом смысле существует большая разница между латиноамериканским мазутом и мазутом из других регионов. В зависимости от качества топлива, ресурс пары стальной клапан—стальное седло может составить от 3 до 10 тыс. ч, что для коммерческой эксплуатации явно недостаточно.

Стало ясно, что проблема абразивной эрозии может быть решена применением более твердых материалов. В результате многочисленных экспериментов была найдена оптимальная пара: посадочная поверхность пояска золотника из нитрида кремния и седло из карбида вольфрама. При этом износ практически равен нулю, а расчетный ресурс в 30 000 ч обеспечивается с большим запасом. Неплохие результаты по сравнению с исходной стальной парой дал также компромиссный вариант: стальной поясок золотника и седло из карбида вольфрама.

Предохранительный клапан

Согласно требованиям любых классификационных обществ, все системы высокого давления должны иметь предохранительные клапаны. В данном случае предохранительный клапан встроены в многофункциональный пусковой клапан, который имеется в каждом аккумуляторе (или в каждой паре аккумуляторов).

Он также был подвержен интенсивному износу. Многочисленные эксперименты привели к оптимальному решению — керамический шариковый клапан с седлом из карбида титана.

Системы защиты

Основное внимание было уделено следующим особенностям системы Common Rail, связанным с постоянным наличием в ней высокого давления:

- Необходимость безусловного предотвращения преждевременного впрыска, поскольку в этом случае впрыск даже 30 % от номинальной подачи топлива может привести к отрыву головки цилиндра.

- Необходимость безусловного предотвращения утечки топлива.

Любое соединение в системе Common Rail подвержено в среднем двойной перегрузке по давлению по сравнению с обычной системой, длительность которой в среднем превышает обычную в 25 раз.

Защита от раннего впрыска

Одним из главных требований при создании системы Common Rail было гарантированное отсутствие преждевременного впрыска при единичном отказе. Для этого потребовалась, в частности, разработка золотникового распределителя, зависание которого в промежуточном положении не приводило бы к преждевременному впрыску.

Защита основана на следующих принципах:

➤ Небольшая утечка через сопло не имеет последствий, поскольку золотник не пропускает топливо.

➤ Утечка через золотник не имеет последствий, поскольку сопло не пропускает топливо, которое будет сливаться через жиклер.

➤ В случае утечки одновременно через сопло и золотник большая часть топлива будет сливаться через жиклер, удерживая ограничитель расхода в крайнем положении.

Небольшая часть топлива может попасть в цилиндр под низким давлением, но оно не представляет опасности, т. к. на следующем такте сгорания впрыска не будет. Эта система полностью себя оправдала.

Соединения трубок высокого давления

Трубки высокого давления в системе Common Rail подвержены меньшим динамическим нагрузкам по сравнению с обычной системой. Однако давление в них выше, к тому же оно действует постоянно. Поэтому особое внимание пришлось уделить коническим соединениям. Как оказалось, даже небольшая царапина, через которую идет утечка, начинает очень быстро расти из-за абразивной эрозии, вызываемой наличием твердых частиц в топливе.

Для предотвращения этого эффекта были предусмотрены следующие меры:

➤ высокое качество и точность изготовления деталей;

➤ закалка компонента с внутренним конусом;

➤ точное соблюдение инструкций по первичной и повторной сборке соединений;

➤ обязательное использование защитных колпачков во избежание появления царапин еще до начала сборки.

Принятые меры позволили полностью избавиться от проблем с коническими соединениями.

Система обнаружения утечек

С самого начала в системе были применены трубки с двойными стенками.

Это обеспечило высокую степень защиты от утечек, но в то же время затруднило их обнаружение. Поэтому потребовалась разработка специальной системы обнаружения утечек. Пространство между стенками соединено со сверлением для обнаружения утечек. Через него все утечки попадают в общее устройство сигнализации. Однако до этого давление утечки отжимает небольшой поршень или штифт детектора. При появлении предупредительного сигнала об утечке оператор решает, остановить машину или продолжать работу, но в любом случае он сначала может подойти к дизелю и посмотреть, какая трубка или какое соединение протекает.

Упомянутое устройство визуализирует утечку, облегчая тем самым для оператора принятие решение о продолжении работы или останове. Это устройство запатентовано.

Совершенствование системы автоматике касалось, в основном, датчиков скорости и положения, а также соединительных кабелей.

Резервирование схемы измерения скорости

В системе применено резервирование датчиков скорости (на маховике) и положения (на кулачковом валу). Вначале система была настроена на остановку двигателя в случае пропуска импульса или поступления лишнего импульса от зуба маховика, либо в случае отсутствия сигнала датчика положения. Вместе с тем в некоторых ситуациях искажение сигнала, обусловленное механикой, могло приводить к ложным срабатываниям. В частности, в дизель-генераторе это может произойти при растормаживании гибкой муфты, когда высвобождается накопленная в ней энергия, а в главном судовом двигателе на эластичных опорах — при соприкосновении с упорами, например, при волнении.

В результате была создана система с надежным резервированием, нечувствительная к единичным возмущениям. Эта система включает электронный таймер — так называемый виртуальный маховик. При пропуске импульса или появлении избыточного импульса от любого датчика система переходит на управление от виртуального маховика. При отсутствии сигнала от реального маховика система будет управляться сигналами от датчиков кулачкового вала и наоборот. В обоих случаях двигатель будет нормально работать до тех пор, пока хотя бы один из четырех датчиков формирует правильный сигнал. Разумеется, при отказе любого из датчиков формируется аварийный и/или предупредительный сигнал. Повторный пуск остановленного двигателя возможен лишь после устранения отказа в системе измерения скорости.

Кабельные соединения

Первоначально в системе автоматике были использованы кабели автомобильного типа в пластиковых чулках с пластиковыми разъемами. В целом эта система работала нормально, однако в ней существовали наводки, и, кроме того, провода со временем изнашивались. Замена пластиковых разъемов на металлические дала значительный эффект, но небольшие наводки остались, т. к. непосредственно вблизи разъемов изоляцию приходилось срезать.

Снижение дымности

Внедрение Common Rail имело целью прежде всего снижение дымности, особенно на малых нагрузках, что и наблюдалось при работе на мазуте из месторождений Северного моря. Од-

нако в Латинской Америке ситуация резко изменилась.

Оказалось, что работа на латиноамериканском мазуте с высокой зольностью требует значительного повышения давления топлива. Оказалось также, что число сопловых отверстий должно быть уменьшено. Для обеспечения нужной приемистости двигателя потребовалось увеличить давление наддува в диапазоне нагрузки от 20 до 40 % примерно на 0,2 бар, что позволило за 50 с нагрузить двигатель с 0 до 100 % практически без дыма.

Оптимизация закона впрыска

Теоретически система Common Rail должна приводить к снижению расхода топлива благодаря уменьшению механических потерь. На практике, однако, некоторое снижение расхода

топлива наблюдалось лишь на долевых нагрузках. Причина, очевидно, состояла в том, что закон впрыска на номинальной мощности был далек от оптимального. Для его оптимизации было предложено так называемое скользящее сопло.

Моделирование показало, что с его помощью можно осуществить «башмачный» впрыск, характерный для лучших механических систем.

Система Common Rail оказалась эффективным средством подавления дымности в среднеоборотных двигателях. Был достигнут достаточный уровень эксплуатационной надежности системы, и уже сейчас ясно, что с ее помощью можно повысить топливную экономичность на всех режимах. Поэтому Common Rail оценивается как основной путь развития систем топливоподачи в ближайшем будущем.



3-я Международная научно-практическая конференция

Информационные технологии, системы и приборы в АПК АГРОИНФО–2006

17–18 октября 2006 г.
г. Новосибирск — п. Краснообск

Адрес: 630501, п. Краснообск,
Новосибирской области, ГНУ СибФТИ
Тел.: (383) 348-16-95, 348-35-24
Факс: (383) 348-35-52

E-mail: fti@sibfti.ru, civo@civo.sorashn.ru;

Информация о конференции представлена на
сайте ГНУ СибФТИ <http://www.sibfti.ru>
в рубрике «Конференция АГРОИНФО–2006».

Тематика конференции

Применение информационных технологий в инженерно-технической сфере АПК, в том числе при эксплуатации, ремонте и обеспечении работоспособности двигателей внутреннего сгорания.

Информационные измерительные системы, приборы и оборудование для автоматизации исследований, контроля и управления сельскохозяйственными технологическими объектами и процессами.

Информационные технологии, компьютерное моделирование, создание баз данных и знаний, экспертных систем.

Выставки

Во время работы конференции будут организованы:

- выставка приборов;
- компьютерные демонстрации;
- презентации книг,

где предлагается учреждениям и компаниям представить их достижения и технологии.

Экскурсии

Будет организовано посещение:
музеев-выставок институтов СО РАСХН и СО РАН;

музея Агроэкологии и охраны окружающей среды им. В.С. Гребенникова СибНИИЗХим СО РАСХН;

Почвенного музея ИПА СО РАН;

Центрального Сибирского геологического музея ОИГГМ СО РАН.