

ПО СТРАНИЦАМ ЗАРУБЕЖНЫХ ЖУРНАЛОВ

Материал подготовил к.т.н. А.А. Обозов

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР MAN В КОПЕНГАГЕНЕ ВНЕДРЯЕТ ТЕХНОЛОГИЮ EGR

Компания MAN Diesel недавно достигла превосходных результатов по снижению выбросов NO_x на малооборотном исследовательском двигателе 4T50ME-X за счет использования технологии рециркуляции отработавших газов (EGR). Максимальное снижение выбросов NO_x составило 70 % при работе на режиме с нагрузкой 75 % и 60 % — на режиме максимальной длительной мощности с минимальной потерей удельного эффективного расхода топлива (SFOC). Другие параметры двигателя и выбросы других вредных компонентов не претерпели существенных изменений в результате применения EGR-технологии.

Повышенное внимание к проблемам окружающей среды, вызванным выбросами NO_x , и их влиянием на здоровье человека, а также законодательство по охране атмосферы, потребовали от компании MAN Diesel и промышленности двигателестроения более тщательного изучения технологий снижения выбросов NO_x . Ожидается, что в ближайшее время в 2008 г. вступят в силу новые более жесткие ограничения выбросов NO_x в соответствии с правилами IMO Tier 2 и IMO Tier 3 в 2011 г.

Технология EGR (Exhaust Gas Recirculation — рециркуляция отработавших газов) показала многообещающие результаты в снижении выбросов NO_x дизельных двигателей с заделом на десятилетия. В настоящее время технология EGR широко используется на грузовых автомобилях и обеспечивает снижение выбросов NO_x на 60 % за счет рециркуляции охлажденных газов.

EGR-процесс, используемый на дизеле 4T50ME-X, основан на перепуске отработавших газов перед турбокомпрессором (рис. 1) из выпускного ресивера в систему продувочного воздуха. Электрический высоконапорный нагнетатель прокачивает отработавшие газы под давлением 3,3 бар через водяной скруббер (газоочиститель) в высоконапорный ресивер продувочного воздуха. Скруббер охлаждает отработавшие газы, одновременно удаляя SO_x и твердые частицы за счет их промывки, прежде чем повторно направить ОГ в камеру сгорания. Конечный результат по снижению выбросов NO_x достигается благодаря

замещению части кислорода углекислым газом (CO_2), в результате чего из-за замедления процесса сгорания снижается максимальный пик температур.

Система EGR включает одноступенчатый высоконапорный нагнетатель, водяной скруббер, управляющий клапан, систему водоподготовки с управляющим блоком в виде программируемого контроллера.

Скруббер и нагнетатель являются необходимыми компонентами, которые разработаны специально для применения совместно с EGR-системой (рис. 2, 3).

На двигателе 4T50ME-X было выполнено более 50-и экспериментов в период с февраля по март этого года. Для того чтобы исследовать влияние EGR технологии на выбросы NO_x и SFOC осуществлялось варьирование различных параметров: количество EGR %, температура продувочного воздуха, давление сжатия и закон процесса топливоподачи. При нагрузке 75 % выбросы NO_x были снижены на 70 % при 30 %-ной рециркуляции ОГ. На режиме максимальной длительной мощности выбросы NO_x были снижены на 60 % при 24 %-ной рециркуляции при совсем незначительном отрицательном влиянии на SFOC (рис. 4). Потребление энергии EGR-нагнетателем не принималось во внимание, так как эффективность нагнетателя была очень низкой.

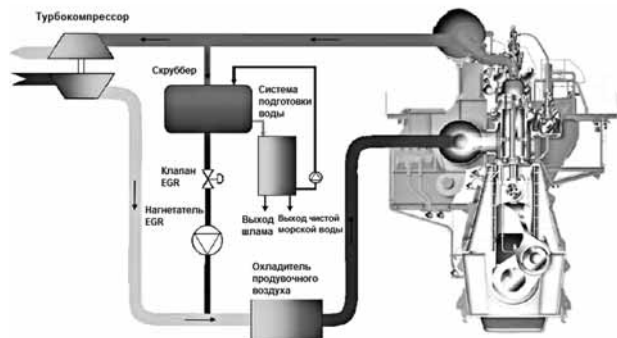


Рис. 1. Принципиальная схема системы EGR

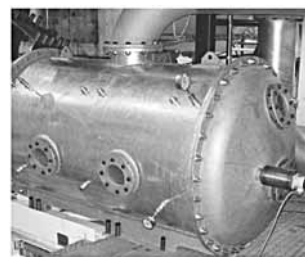


Рис. 2. EGR-скруббер



Рис. 3. EGR-нагнетатель

На рис. 5 показаны уровни других выбросов, таких как HC и CO на 100 %-ной нагрузке.

Выбросы HC были снижены приблизительно на 18 % при возрастании эмиссии CO в 3,3 раза при степени рециркуляции 24 % EGR. Такое возрастание выбросов CO в действительности не опасно, так как сравнивается с очень низким абсолютным уровнем CO, свойственным для малооборотных дизельных двигателей.

На рис. 6 показано снижение расхода воздуха через турбокомпрессор и снижение частоты вращения ротора турбокомпрессора с возрастанием степени рециркуляции EGR %. Из этого следует,

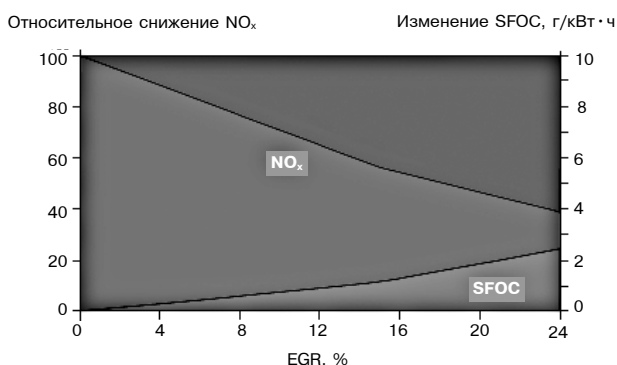


Рис. 4. Зависимость NO_x и SFOC от степени рециркуляции

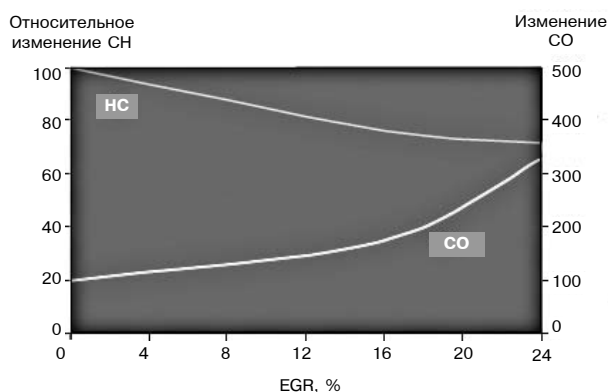


Рис. 5. Зависимость HC и CO от степени рециркуляции при нагрузке 100% МДМ

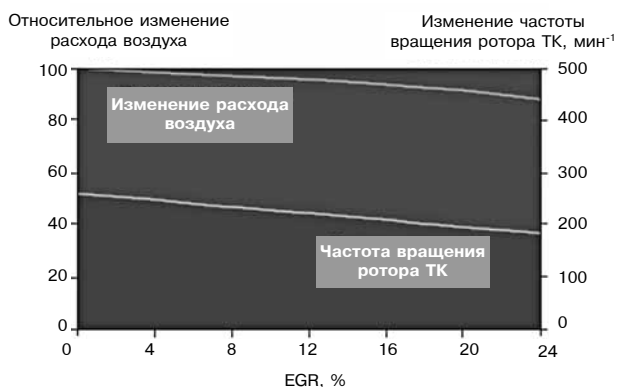


Рис. 6. Зависимость расхода воздуха и частоты вращения ротора ТК от степени рециркуляции

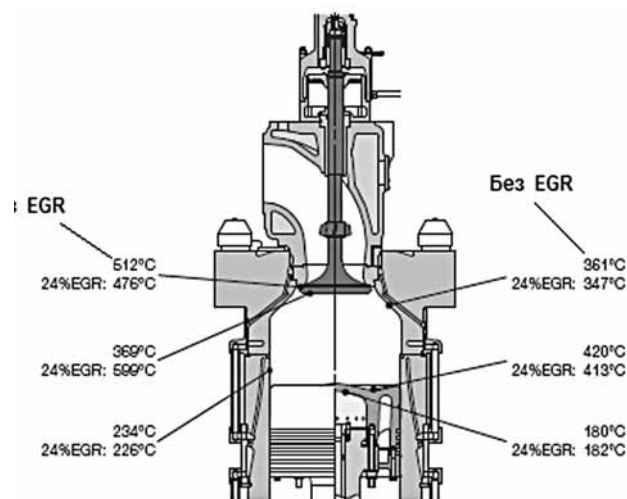


Рис. 7. Температура поверхности деталей камеры сгорания

что спецификационные характеристики и настройки турбокомпрессора должны быть изменены в случае применения EGR-процесса, чтобы сохранить высокую эффективность ТК в новых условиях работы. В будущем на двигателях с EGR потребуется установка турбокомпрессоров меньших размеров, что благоприятно отразится на цене турбокомпрессора и сделает технологию EGR еще более привлекательной.

Как видно из рис. 7, температура поверхностей деталей камеры сгорания имеет тенденцию к уменьшению при повышении степени рециркуляции EGR благодаря более высокому удельному массовому потоку через цилиндр. Понижение температуры также является положительным эффектом, сопровождающим EGR-процесс.

Контроль состояния цилиндро-поршневой группы, выполненный перед проведением испытаний двигателя с EGR-системой и после завершения испытаний, продемонстрировал отсутствие каких-либо видимых негативных последствий. Однако надлежащий процесс управления водяным скруббером и обеспечение удаления капель воды из продувочного воздуха необходимо для защиты цилиндрических втулок и поршневых колец.

Компания MAN Diesel уверена, что EGR-технология является конкурентоспособной технологией снижения выбросов NO_x , которая будет использована на больших малооборотных двигателях. Компания планирует оптимизировать EGR-технологии в испытательном центре Копенгагена и провести демонстрацию его в сервисных условиях на океанском судне в ближайшие три года.

Источник

Diesel Facts. MAN B&W Diesel. — Copenhagen. — № 3. — 2007.

**ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ NO_x
ФИРМЫ «WARTSILA»**

Системы прямого впрыскивания воды и селективного каталитического снижения выбросов NO_x в настоящее время являются доступными для малооборотных двигателей.

Ожидается, что, начиная с 2008 г., новые нормы по ограничению выбросов NO_x IMO Tier 2 будут диктовать необходимость снижения выбросов NO_x на 10–30 % по сравнению с действующим в настоящее время уровнем. Более того, дискутируется вопрос о введении в силу ограничений Tier 3 в 2011 г., которые потребуют снижения уровня эмиссии NO_x на 40–80 % по сравнению с Tier 2. Такие жесткие ограничения по выбросам обозначили ясные цели исследовательских работ, проводимых создателями малооборотных двигателей.

Первым шагом к снижению выбросов NO_x, по мнению фирмы «Wartsila», является применение «внутренних мер» по двигателю, которые уже внедряются, чтобы соответствовать действующим ограничениям Tier 1. Эти меры включают применение более высокой степени сжатия, «позднего» впрыскивания топлива одновременно с изменением конструкции распылителя и адаптируемых фаз газообмена, а также могут быть применены в различных комбинациях в соответствии с необходимым уровнем снижения NO_x для конкретного двигателя. Они являются простыми и эффективными, не влияют на надежность двигателя, лишь совсем незначительно увеличивая расход топлива. Например, настройка

малооборотных двигателей Wartsila RTA на режим низкой эмиссии NO_x (на 5 % ниже ограничений IMO Tier 1) сопровождается увеличением удельного расхода топлива на 2 г/(кВт·ч).

Электронные системы топливоподачи типа common rail, которыми оснащены двигатели Wartsila RT-flex, обеспечивают получение различных профилей подачи топлива (рис. 1). Такие профили впрыскивания могут быть использованы в качестве опций и, как ожидается, снизят эмиссию NO_x на 15–20 % ниже ограничений Tier 1.

Введение воды в камеру сгорания является другой технологией снижения эмиссии NO_x. Эмульгирование топлива подвергалось длительному изучению. Гибкость в настройке двигателей RT-flex с системой common rail облегчает их адаптацию к введению эмульгированного топлива. Используемые в настоящее время насосы и их производительность делают возможным снижение эмиссии NO_x на 20 % по отношению к существующим ограничениям Tier 1.

Как альтернатива, вода может быть непосредственно впрыснута в камеру сгорания отдельно от топлива, что также понижает эмиссию NO_x. Как показали результаты исследований на малооборотных двигателях Wartsila, которые были начаты еще в 1993 г., технология непосредственного (прямого) впрыскивания воды (DWI—Direct Water Injection) снижает уровень температуры цикла и, следовательно, уменьшает образование NO_x.

DWI-технология дает возможность впрыскивать воду в строго определенный момент и гарантирует значительное снижение эмиссии NO_x. Чтобы осуществлять впрыскивание воды,

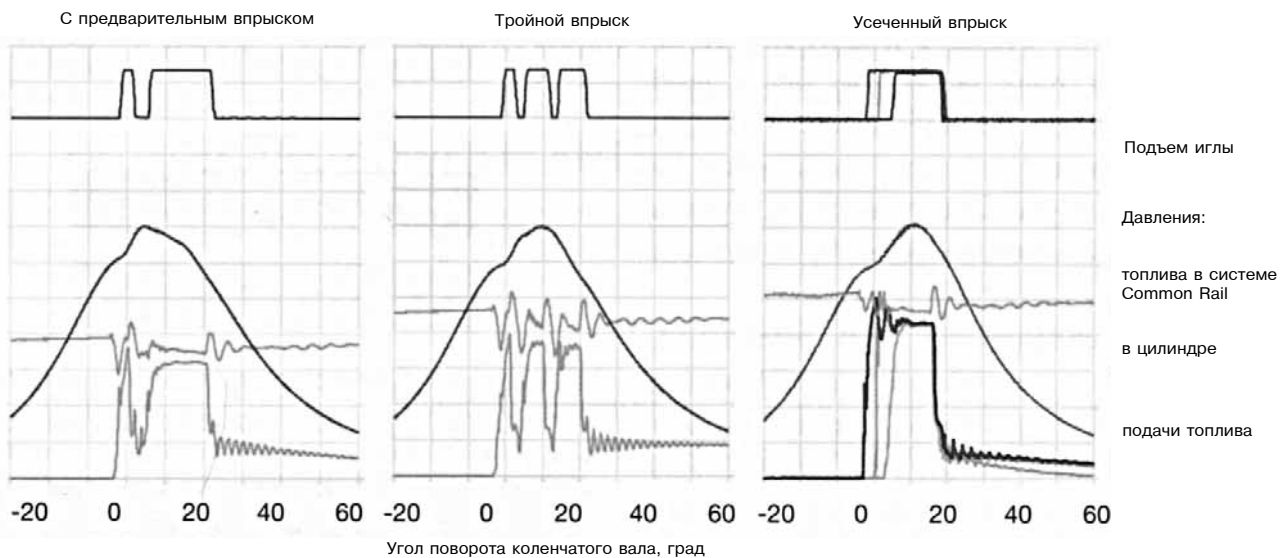


Рис. 1. Характеристики трех различных профилей топливоподачи, которые обеспечиваются системой common rail двигателей Wartsila RT-flex

используется полностью независимая вторая система common rail с электронным управлением. Количество впрыскиваемой воды, если требуется, может достигать 100 % по отношению к количеству впрыскиваемого топлива.

Вода и топливо могут впрыскиваться в различные моменты времени; например, вода может впрыскиваться параллельно с топливом или перед впрыском топлива в течение хода сжатия. Двигатели RT-flex, оснащенные системой DWI, оптимизированы отдельно для случаев, когда подача воды включена или выключена.

Система DWI, испытанная на полноразмерном исследовательском двигателе Wartsila, показала возможность снижения эмиссии NO_x до 8 г/кВт·ч (приблизительно на 50 % ниже ограничений Tier 1). Связанная с этим потеря экономичности двигателя составляет 5 г/кВт·ч (рис. 2).

«Wartsila» информирует о том, что, хотя система DWI отработала без проблем в течение длительного времени на исследовательском двигателе (включая работу на тяжелом топливе), эти испытания не достаточны для полной оценки поведения системы в эксплуатационных условиях. Поэтому в ближайшее время запланированы испытания DWI-системы в нормальных сервисных условиях на борту судна, на одном цилиндре восьмицилиндрового двигателя RT-flex96C в рамках исследовательского проекта HERCULES в сотрудничестве с судовладельцем. Часть исследовательского проекта HERCULES составляют подробные исследования в области моделирования и оптимизации системы DWI.

Система DWI может применяться одна или же в комбинации с внутренней рециркуляцией отработавших газов (EGR — Exhaust Gas Recirculation) в качестве так называемой WaCoReg (wa-

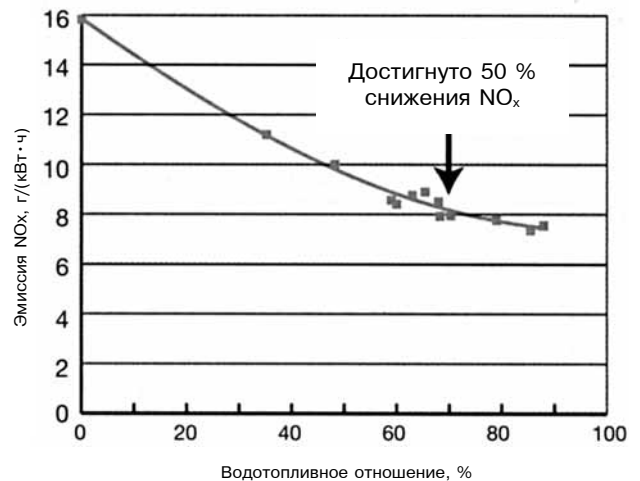


Рис. 2. Снижение эмиссии NO_x на исследовательском двигателе Wartsila RT-flex при использовании прямого впрыскивания воды

ter-cooled residual gas), посредством которой «Wartsila» намерена обеспечить снижение NO_x на 70 % ниже ограничений Tier 1 (до 5 г/кВт·ч).

EGR снижает образование NO_x вследствие уменьшения концентрации кислорода в цилиндре двигателя и увеличения теплоемкости рабочего тела в цилиндре. При использовании технологии EGR сокращение количества воздуха происходит в момент начала сжатия за счет уменьшения высоты продувочных окон (из-за чего уменьшается поток продувочного воздуха).

Внутренняя рециркуляция обычно увеличивает термическую нагрузку на детали камеры сгорания и поэтому применяется впрыскивание воды для снижения уровня температур и термической нагрузки до такого же уровня, как и при работе без внутренней EGR.

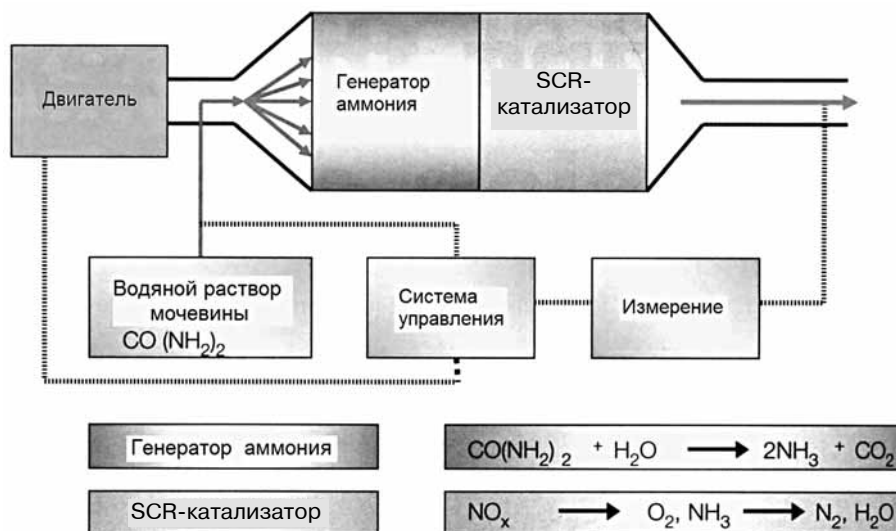


Рис. 3. Система селективного каталитического понижения NO_x (стоимость агента приблизительно составляет 10 % от стоимости топлива)

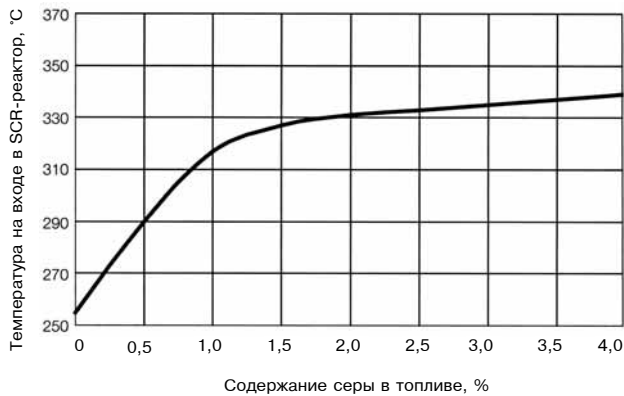


Рис. 4. Зависимость минимальной температуры на входе в SCR-систему для исключения образования сульфата аммония

Если требуется снижение эмиссии NO_x на 80 % или более по отношению к нормам IMO Tier 1, существует доступная технология очистки отработавших газов посредством селективного каталитического восстановления NO_x (SCR — Selective Catalytic Reduction). Такая система может снизить эмиссию NO_x на 90 % и больше. SCR-технология хорошо отработана и основана на применении дозированного впрыска раствора мочевины (рис. 3) в поток отработавших газов на входе в каталитическую установку, восстанавливающую NO_x до азота и воды. В установках с малооборотными двигателями блок SCR встраивается между выпускным коллектором и входом в турбину для того, чтобы была обеспечена достаточно высокая температура газа для каталитического процесса.

Снижение NO_x посредством использования SCR может происходить только внутри определенного температурного диапазона. Если температура слишком высокая, аммиак преимущественно будет сгорать, а не реагировать с NO/NO_2 . При очень низкой температуре скорость реакции будет слишком медленной и конденсация сульфатов аммония выведет из строя каталитический элемент (рис. 4). SCR-реакторы в настоящее время применяются для малооборотных двигателей только в исключительных случаях. «Wartsila» применила эти технологии на трех судах, введенных в эксплуатацию в 1999–2000 гг. и оснащенных семицилиндровыми двигателями RTA53U. На этих судах SCR-системы снижают эмиссию NO_x до 2 г/кВт·ч.

Двигатели RT-flex с SCR-установкой, оборудованные системой common rail, могут быть оптимизированы на как можно низкий расход

топлива посредством использования систем с электронным управлением, оставляя при этом SCR-процессу функцию снижения эмиссии NO_x .

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ SCR КОМПАНИЕЙ MAN-DIESEL

Компания MAN-Diesel имеет длительный опыт, связанный с применением SCR-технологии для установок с малооборотными двигателями, которая разрабатывалась в сотрудничестве с Датской химической инжиниринговой компанией Haldor Topsoe. В 1989 и 1994 г. были введены в эксплуатацию четыре балкера, оснащенные двигателями MAN B&W 6S50MC с системами SCR, спроектированными для снижения эмиссии NO_x на 93–95 % для эксплуатации в зоне залива Сан-Франциско. Системы соответствуют своим характеристикам, начиная с момента установки, информирует MAN-Diesel; при этом не наблюдается снижения их эффективности в результате эксплуатации и старения.

В 2001 г. SCR-система была установлена на Норвежское судно «Navion Dania» для перевозки сжиженного нефтяного газа, находящегося уже длительное время в эксплуатации (установка реактора была предусмотрена заблаговременно еще на стадии постройки судна). На двигателях MAN B&W 6S35MC эмиссия NO_x снижена более чем на 93 % в диапазоне нагрузок 40–100 % при работе на тяжелом топливе с содержанием серы до 2,4 %.

Впрыскивание мочевины прекращается при нагрузке менее 40 %, так как зависящая от нагрузки температура отработавших газов становится слишком низкой для SCR-процесса и таким образом предотвращается риск образования сульфата аммония.

При использовании SCR-установок могут появляться проблемы, связанные с поддержанием динамических характеристик двигателя и стабильности работы турбокомпрессора, сообщает MAN-Diesel, однако двигатели серии ME и ME-C с электронным управлением являются хорошо приспособленными под установку SCR-систем. Быстрое принятие нагрузки двигателем обеспечивается посредством более раннего открытия выпускного клапана и более позднего впрыскивания топлива, в то же время за счет варьирования фаз выпускного клапана стабилизируется работа турбокомпрессора.

Источник

Marine Propulsion (август/сентябрь). — 2007.