



УДК 629.12-:502.7

А.С. Курников, д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Н.Н. Арефьев, аспирант ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603951, г.Н.Новгород, ул. Нестерова, д. 5

ВЛИЯНИЕ ВОДЫ В РАБОЧЕМ ЦИЛИНДРЕ СУДОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ТОКСИЧНОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Ключевые слова: впрыск воды, увлажнение воздуха, циклонно-пенный аппарат.

В данной работе рассматривается влияние воды в цилиндре судового дизеля на количество вредных веществ в отработавших газах, а также основные применяемые методы введения воды в цилиндр.

За последние несколько лет ведущие компании-производители судовых дизельных двигателей активно стремились снизить уровень вредных веществ в отработавших газах(ОГ) в соответствии со снижением допустимых норм, регламентируемых Приложением VI MARPOL73/78. Одним из перспективных методов является введение воды в камеру сгорания двигателя, что приводит к уменьшению эмиссии NOx.

Компания Wärtsilä в более ранних разработках использовала систему насыщения водой наддувочного воздуха, где вода распылялась форсункой сразу за турбокомпрессором[1]. Такая система получила название Combustion air saturation system(CASS) и позволяла снизить эмиссию NOx на 40-45%. Уменьшение образования оксидов азота в камере сгорания объясняется понижением температуры горения топливо-воздушной смеси за счет высокой теплоемкости водяного пара в цилиндре двигателя. В дальнейших разработках Wärtsilä использовала другую систему подачи воды в цилиндр – Direct Water Injection (DWI)[2], в которой форсунка распыляет воду непосредственно в камеру сжатия. DWI-технология дает возможность впрыскивать воду в строго определенный момент и гарантирует значительное снижение выбросов NOx. Для обеспечения функционирования установки прямого впрыска используется полностью независимая вторая система Common Rail с электронным управлением, а также специально разработанные форсунки с двумя сопловыми наконечниками для отдельного впрыска топлива и воды. Внешний вид такой форсунки представлен на рис 1. Количество впрыскиваемой воды, если требуется, может достигать 100 % по отношению к количеству топлива. Вода и топливо могут впрыскиваться в различные моменты времени. Например, вода может впрыскиваться параллельно с топливом или перед впрыском топлива в ходе такта сжатия. Двигатели RT-flex, оснащенные системой DWI, оптимизированы отдельно для случаев, когда подача воды включена или выключена. Система DWI, испытанная на полноразмерном двигателе Wärtsilä, показала возможность снижения эмиссии NOx до 50%. Связанная с этим потеря топливной экономичности двигателя составляет 5 г/(кВт·ч).

Ещё один крупный производитель дизельных двигателей компания Mitsubishi Heavy Industries проводила исследования по одновременному впрыску топлива и воды в цилиндр посредством одной форсунки. Данный метод получил название Stratified Fuel-

Water Injection (SFWI). Форсунка имеет один распылитель, оборудованный специальным золотниковым устройством, позволяющим в периоды между впрысками заполнять водой



Рисунок 1. Форсунка системы DWI, часть внутренней полости, прилегающей к игле форсунки.

При впрыскивании последовательно вытесняется топливо, вода и снова топливо, формируя в факеле распыла четко выраженные слои [3]. Принцип действия такой форсунки представлен на рис. 2. Испытания на малооборотном двухтактном двигателе компании показали сокращение выбросов NOx до 50%.

Также следует отметить, что степень снижения оксидов азота в ОГ двигателя пропорциональна понижению температуры горения и, соответственно, количеству введенной воды. Однако избыточное снижение температуры в камере сгорания приводит к уменьшению эффективности рабочего цикла двигателя, что увеличивает удельный расход топлива.

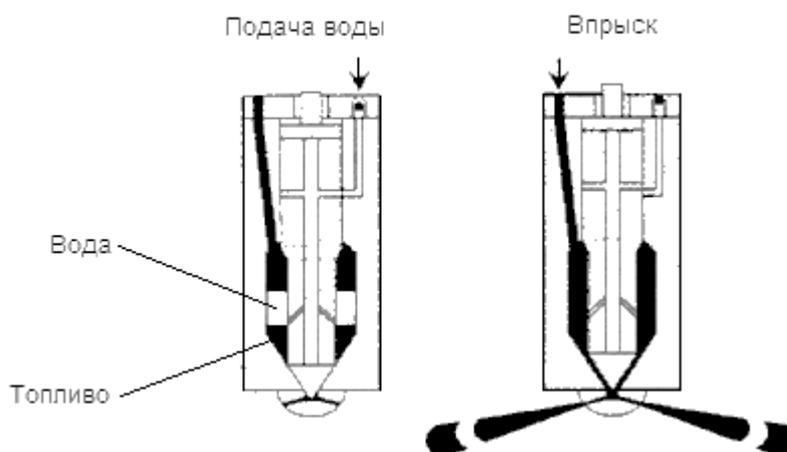


Рисунок 2. Форсунка системы SFWI

Одним из способов подачи воды в цилиндр является применение водосодержащих топлив, или водо-топливной эмульсии (ВТЭ). ВТЭ - это метастабильные жидкости, состоящие из воды и топлива, при этом длительность их метастабильного состояния зависит от третьего вещества - эмульгатора. Но подбор именно этого вещества оказался с технической точки зрения намного сложнее инженерных проблем, возникающих при использовании обычной воды. При нарушении стабильности эмульсии образуются локальные скопления воды, что может привести к серьезным поломкам топливной аппаратуры. Трудности, возникающие при создании устойчивых эмульсий, связаны не только с подбором эмульгаторов. Необходимо выполнить целый ряд требований, предъявляемых к топливу. Во-первых, эмульгатора в эмульсии должно быть как можно меньше. Так, например, повышенная концентрация эмульгатора может вызвать усиленное образование нагара в камере сгорания, нестабильность работы двигателя[4].

Во-вторых, эмульгаторы и продукты их распада не должны быть токсичными и коррозионноактивными, не должны снижать детонационную стойкость топлива. Все эти дополнительные требования усложняют задачу создания ВТЭ с длительным временем стабильности. Однако применение ВТЭ имеет ряд преимуществ перед непосредственным впрыском воды: не требуется установка дополнительных систем или модернизация топливной системы, а также улучшается смесеобразование за счет более мелкого дробления топлива при испарении микрочастиц воды в камере сгорания.

Ещё одним способом подачи воды в цилиндр двигателя является увлажнение входящего в цилиндр воздушного заряда. Фирма MAN исследовала возможность предварительного увлажнения наддувочного воздуха. Для этого была разработана система Humid Air Motor (HAM), которая способна увлажнить воздух паром во впускном коллекторе до 99%[5]. Для работы системы используется морская вода, а испарение происходит за счет утилизации теплоты двигателя. Производитель заявляет снижение выбросов NOx до 55% с применением данной системы.

При разработке системы по комплексному снижению вредных веществ в ОГ судового двигателя целесообразно применять воду в камере сгорания для снижения эмиссии NOx, причем наиболее выгодным является метод увлажнения воздушного заряда. В схеме, представленной на рис. 3, одним из компонентов системы является циклонно-пенный аппарат (ЦПА), который представляет собой устройство контактной жидкостной нейтрализации ОГ. В ЦПА газы проходят через слой динамической водяной пены, что позволяет эффективно удалить механические примеси (сажу) и сернистые соединения. Кроме того, в ЦПА ОГ охлаждаются, а относительная влажность после аппарата может достигать 90-95%. В соответствии со схемой часть газов затем направляется обратно в двигатель, тем самым повышая относительную влажность воздушного заряда.

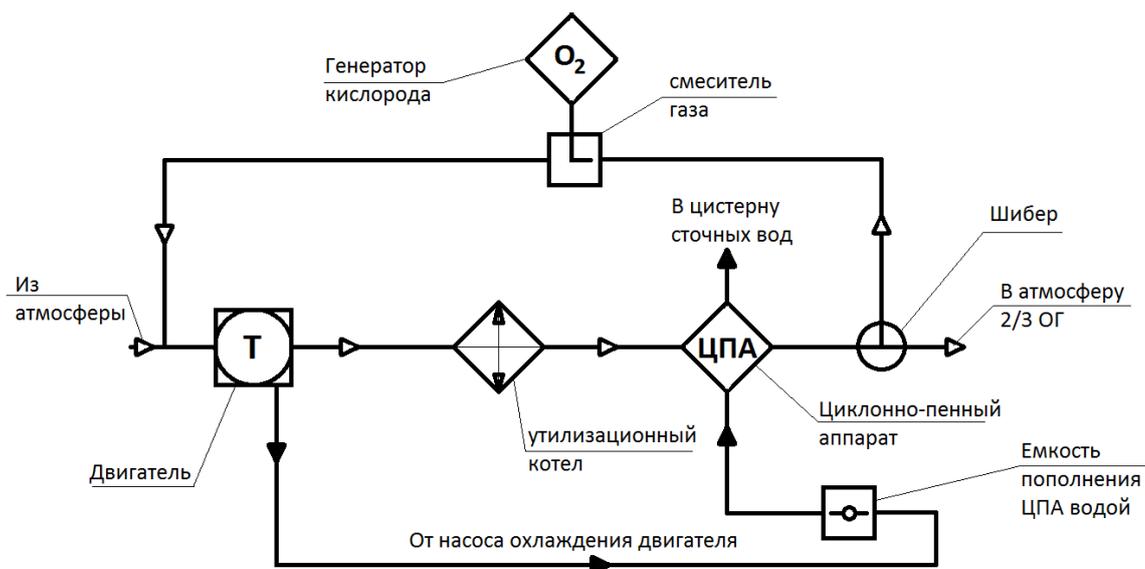


Рисунок 3. Схема системы по комплексному снижению вредных веществ в ОГ

Таким образом, применение ЦПА в комплексной системе по снижению вредных веществ позволяет не только очистить ОГ жидкостью, но и увлажнить воздушный заряд, что приводит к снижению эмиссии оксидов азота.

Список литературы:

- [1] Steffens D. The Diesel Engine and the Environment. Session Chair – Wayne Cole, Cole Engineering. Houston, Texas, September 16-17, 2003. – 36 p..
- [2] Wartsila 46 Technology review. Wartsila Corporation, 2008. – 20 p.
- [3] Koji Takasaki Improvement of diesel combustion with stratified fuel/water injection system / Koji Takasaki, Tadashi Fukuyoshi, Shigenobu Abe, Shin-nosuke Osafune Mitsubishi Heavy

Industries, Ltd. Japan. 1998 – 6 p

[4] Пахомов Ю.А. Топливо и топливные системы судовых дизелей Пахомов Ю.А., Коробков Ю.П., Дмитриевский Е.В., Васильев Г.Л – РКонсульт, 2004 – 496с.

[5] Возницкий И.В. Современные судовые среднеоборотные двигатели / И.В. Возницкий – Санкт-Петербург: ГМА им. Адм. С. О. Макарова. 2005. – 150 с

Influence of water in diesel engine cylinder on toxicity of exhaust gases.

INFLUENCE OF WATER IN THE WORKING CYLINDER OF A SHIP DIESEL ENGINE ON THE TOXICITY OF EXHAUST GASES

A.S. Kurnikov, N.N. Arefyev

Key words: water injection, air humidifying, cyclone foam unit

This article considers impact of water in combustion chamber on amount of harmful substances in exhaust gases, and the main methods of introducing water into cylinder