

## ОГРАНИЧЕНИЕ ВЫБРОСОВ NO<sub>x</sub> НА УРОВНЕ IMO TIER-3 ДЛЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ОТЛОЖЕНО ДО 2021 ГОДА

Л.А. Новиков, к.т.н.  
ООО «ЦНИДИ-Экосервис»

В штаб-квартире Международной морской организации (ИМО) в Лондоне в период с 13 по 17 мая 2013 г. состоялось заседание 65-й сессии Комитета по защите морской среды (КЗМС), рассмотревшему готовность к промышленному освоению технологий для снижения выбросов NO<sub>x</sub> судовыми дизелями на 80 %.

В ходе состоявшейся дискуссии была обоснована преждевременность введения в Балтийском море зоны контроля выбросов NO<sub>x</sub> (NECA) и стандарта по ограничению выбросов NO<sub>x</sub> для судовых дизелей на уровне IMO Tier-3 с 01.01.2016 г. Российская делегация смогла добиться решения о переносе этой даты сроком на пять лет, до 01.01.2021 г.

Решение было принято большинством участников сессии КЗМС, согласившихся с технологической неготовностью промышленности к выпуску и инфраструктурной неготовностью портов к эксплуатации судовых двигателей, соответствующих заявленным нормативам.

Принятое в 2010 г. на 58 сессии ИМО пересмотренное Приложение VI к МАРПОЛ 73/78, вступившее в силу 01.01.2011, наметило план поэтапного снижения выбросов окислов азота (NO<sub>x</sub>) от судовых энергетических установок. Согласно этому плану к 01.01.2016 предусмотрено сокращение выбросов NO<sub>x</sub> на 80 % за счет введения нормы выбросов NO<sub>x</sub> для судовых дизелей на уровне IMO Tier-3 (3,4–2,0 г/кВт·ч) при условии, что этот технический норматив будет действовать только в областях контроля выбросов (NECA). К областям NECA относятся Североамериканское побережье Канады и США, а также Балтийское море. Относительно даты введения норматива IMO Tier-3 также оговорено, что сроки введения могут быть пересмотрены, если анализ состояния разработок технологий по сокращению выбросов NO<sub>x</sub> покажет неготовность изготовителей двигателей к выпуску продукции, соответствующей заявленным нормативам.

Комплекс технических, технологически экономических и других проблем рассматривается на примере введения NECA в регионе Балтийского моря, поскольку по этому региону мы располагаем наиболее полной и объективной информацией.

Хотя есть все основания полагать, что ситуация в рассматриваемом регионе типична и для других зон NECA.

Сторонники введения норматива IMO Tier-3 в планируемый срок (США, Канада, Дания, Финляндия, Швеция и Германия) в преддверии заседания КЗМС-65 считали вопросом уже решенным, однако в ходе состоявшейся дискуссии, инициированной Россией по Балтийскому морю, выяснилось, что остаются открытыми или полностью неясными следующие основополагающие вопросы:

- существует ли как таковая, и насколько серьезна проблема загрязнения воздуха выбросами NO<sub>x</sub> от судового трафика над акваторией Балтийского моря и в других зонах NECA;

- имеется ли срочная необходимость в беспрецедентно жестких мерах по сокращению выбросов NO<sub>x</sub> от судовых дизелей одновременно на 80 %;

- какова стадия промышленного освоения и насколько эффективна в эксплуатации продвигаемая инициаторами введения норматива IMO Tier-3 технология селективного каталитического восстановления NO<sub>x</sub> аммиаком (SCR) и другие альтернативные технологии, а именно — рециркуляция отработавших газов (EGR) и использование в судовых дизелях сжиженного природного газа (LNG);

- имеется ли экспертно подтвержденная оценка предстоящих материальных затрат и инфраструктурная готовность портов для внедрения технологий снижения выбросов NO<sub>x</sub> судовыми дизелями до уровня IMO Tier-3.

Настойчивое нежелание группы заинтересованных стран обсуждать в деталях перечисленные вопросы предполагает наличие групповых политических и бизнес-интересов, продвигаемых под флагом охраны окружающей среды.

### Оценка вклада судового трафика в загрязнение атмосферы над акваторией Финского залива

Техническая политика в области предотвращения загрязнения морской среды с судов определяется директивами ИМО и осуществляется правительствами стран-членов ИМО при поддержке региональных межправительственных организаций. В частности, регион Балтийского моря является зоной ответственности Хельсинского ко-

митета (HELCOM) — межправительственной организации стран Балтийского региона.

Предложения о придании статуса NECA Балтийскому морю основаны на материалах отчета о результатах научных исследований, выполненных рабочей группой HELCOM по инициативе Финляндии и Дании, и посвященных изучению влияния выбросов в атмосферу  $\text{NO}_x$  от судовых энергетических установок коммерческого флота (судового трафика) на загрязнение атмосферы и водных ресурсов региона Балтийского моря [1]. Научная ценность и полнота выполненного исследования, безусловно, представляет интерес и заслуживает отдельного рассмотрения. Однако следующие из материалов отчета выводы и практические рекомендации по применению технических средств для сокращения выбросов с судов по меньшей мере достаточно тенденциозны.

Своевременность и необходимость придания особого статуса Балтийскому морю, по мнению авторов отчета, убедительно продемонстрирована следующими основными результатами выполненных исследований и расчетных прогнозов.

1. Вклад в общий уровень загрязнения атмосферы окислами азота над акваторией Балтийского моря и прилегающими территориями от судового трафика коммерческого судоходства определен величиной порядка 10 % и в загрязнение воды — 20–30 %.

2. Единственной безальтернативной технологией для достижения выбросов  $\text{NO}_x$  от судовых дизелей на уровне ИМО Tier-3 (готовой к промышленному внедрению), авторами названа технология селективного каталитического восстановления  $\text{NO}_x$  аммиаком, выделяющемся при термическом разложении водного раствора мочевины (SCR-процесс). Эту технологию авторы отчета предлагают использовать на всех судах коммерческого флота, осуществляющих перевозки в акватории Балтийского моря.

3. На основании расчетного прогноза утверждается, что снижение выбросов  $\text{NO}_x$  от судовых энергетических установок (главных и вспомогательных дизелей) на 80 % за счет введения нормы выбросов  $\text{NO}_x$  на уровне ИМО Tier-3 позволит сократить к 2045 г. общее загрязнение атмосферы на 60 %, а уровень загрязнения воды соединениями азота, поступающими из атмосферы на 20–30 %.

Даже в случае признания объективности приведенных данных совершенно очевидно, что величина порядка 10 %, находится в пределах статистической погрешности измерений и расчетов, и никак не может представлять «глобальную экологическую угрозу» региону Балтийского моря, хотя именно этот взятый в кавычки термин все более настойчиво навязывается общественному

мнению чиновниками от экологии в странах ЕС в отношении коммерческого судоходства.

По мнению экспертов РФ, располагающих результатами собственных исследований и данными независимых источников, оценка вклада коммерческого судоходства в загрязнение атмосферы на Балтике, выполненная по заказу HELCOM, существенно завышена. Аналитические материалы, представленные в ИМО ведущими классификационными обществами (Регистр Ллойда, Германский Ллойд, Российский морской регистр судоходства и др.) и широко обсуждаемые непосредственно перед принятием пересмотренного Приложения VI к МК МАРПОЛ 73/78 показали, что вклад судового трафика (включая внутренние водные пути и морской транспорт) в глобальное загрязнение атмосферы в Европе составляет в целом не более 1–2 %, а в локальных зонах интенсивного судоходства (проливы, судоходные каналы и порты), с учетом трансграничного переноса выбросов  $\text{NO}_x$  от других источников, может достигать величины порядка 5 % [2].

Применительно к акватории Финского залива Балтийского моря в 2010 г. по заказу Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Санкт-Петербурга была выполнена оценка влияния судового трафика на уровень загрязнения атмосферы выбросами окислов азота над акваторией Финского залива (Морского канала, морского порта и устья р. Невы) [3]. При выполнении этой оценки в расчет принимались выбросы вредных веществ от судового трафика, осредненного за три года (с 2007 по 2009 г.). Значения выбросов вредных веществ, использованных в расчетах, были получены на основании прямых измерений выбросов основных модификаций главных и вспомогательных двигателей отечественного и зарубежного производства, установленных на судах, эксплуатирующихся в акватории Финского залива [4].

Интенсивность коммерческого судоходства в рассматриваемой акватории характеризуется следующими среднегодовыми показателями (что полностью соответствует оценкам, выполненным рабочей группой HELCOM, приведенным на рис. 1:

➤ движение по Морскому каналу — 38 тыс. морских судов и судов смешанного река–море плавания;

➤ количество судозаходов в морской порт Санкт-Петербурга (с учетом перешвартовок) — 29 тыс. морских судов водоизмещением от 5 до 50 тыс. тонн.

➤ движение в устье р. Невы — 9 тыс. судов смешанного река–море плавания водоизмещением от 1,5 до 8 тыс. тонн.

Результаты выполненного исследования с учетом выбросов от стационарных источников

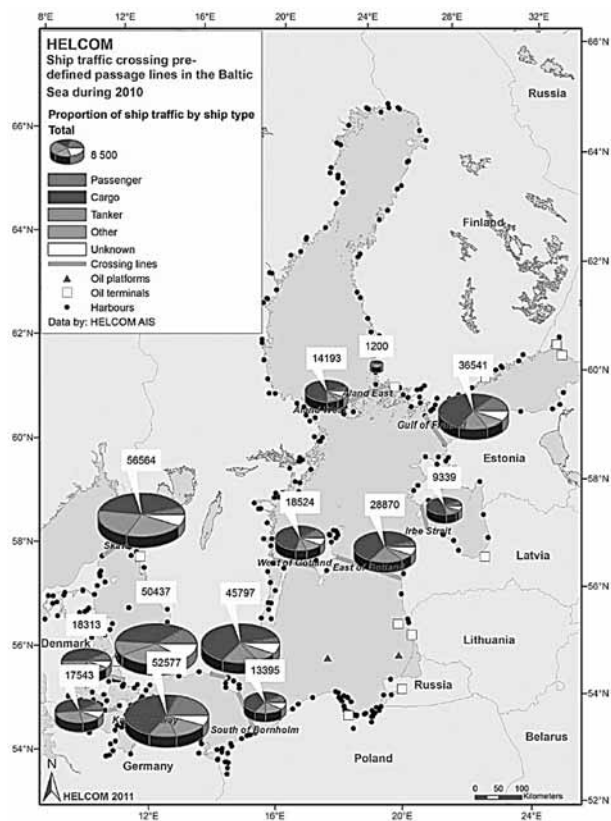


Рис. 1. Интенсивность коммерческого судоходства в Балтийском море по оценке HELCOM

Таблица 1

**Выбросы вредных веществ в атмосферный воздух над акваторией Финского залива в 2009 г.**

Источник загрязнения	Выбросы, всего	В том числе		Доля NO <sub>x</sub>
		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	
		тыс. тонн		%
Стационарные источники	50,4	6,4	19,6	13,7
Автомобильный транспорт	573,9	5,7	113,5	78,9
<b>Флот</b>	<b>11,3</b>	<b>1,5</b>	<b>8,0</b>	<b>5,5</b>
Железнодорожный транспорт	3,3	0,4	2,8	1,9
<b>Итого</b>	<b>638,9</b>	<b>14,0</b>	<b>143,9</b>	<b>100</b>

и основных видов транспорта сведены в табл. 1. Они достаточно точно соответствуют общепринятым оценкам для локальных зон интенсивного судоходства, что демонстрирует завышение по меньшей мере в два раза аналогичных оценок, выполненных по заказу HELCOM. Весьма важно отметить, что судоходство в Финском заливе носит сезонный характер (судовой трафик зимой снижается в 4–5 раз), что никак не сказывается на улучшении уровня загрязнения атмосферы над акваторией Финского залива. На основании результатов выполненных исследований, включая данные HELCOM, можно обоснованно утверждать, что загрязнение атмосферы над акваторией

Балтики определяет вовсе не коммерческое судоходство, а трансграничный перенос вредных веществ от других преимущественно береговых источников.

Поэтому прогнозируемое улучшение экологической ситуации над акваторией Балтики даже в случае принятия беспрецедентно жестких мер для сокращения выбросов с судов вряд ли приведет к ожидаемому оптимистическому результату.

**Анализ готовности технологий для снижения выбросов NO<sub>x</sub> до уровня требований ИМО Tier-3**

Динамика изменения норм вредных выбросов при переходе от ИМО Tier-2 к ИМО Tier-3 (то есть на 80 % в течение 5 лет), предложенная ИМО под давлением США и стран ЕС, беспрецедентна (табл. 2).

Таблица 2

**Динамика изменения норм вредных выбросов для судовых дизелей (Правило 13 Приложения VI МАРПОЛ 73/78)**

Период действия	Номинальная частота вращения <i>n</i> , об/мин		
	<i>n</i> < 130	130 < <i>n</i> < 2000	<i>n</i> > 2000
ИМО Tier-1 (г/кВт·ч) (с 01.01.2000)	17,0	45· <i>n</i> <sup>-0,2</sup>	9,84
ИМО Tier-2 (г/кВт·ч) (с 01.01.2011)	14,36	44· <i>n</i> <sup>-0,23</sup>	7,66
ИМО Tier-3 (г/кВт·ч) (с 01.01.2016) в пределах ECA*	3,40	9· <i>n</i> <sup>-0,2</sup>	1,97

Примечание. ECA\* — Emission Control Area (область контроля выбросов).

Двигателестроение (в особенности судовое) — отрасль объективно нединамичная и новые усовершенствованные модели двигателей разрабатываются, как правило, в течение нескольких лет. Для планируемого снижения выбросов на 80 % к 01.01.2016 г. производители судовых дизелей были поставлены перед выбором: либо согласиться на установку достаточно проблемной и дорогой системы очистки газов с SCR-процессом; либо в сжатые сроки предпринять радикальное изменение конструкции силовых установок без должного подтверждения их надежности и ресурса. Иными словами, запланированная ИМО техническая и технологическая революция объективно неосуществима без потерь качества и надежности судовых силовых установок.

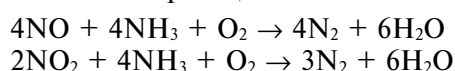
В мировой практике нормирования вредных выбросов в атмосферу от двигателей любых применений снижение нормативов вредных выбросов обычно осуществляется последовательно во времени, в несколько этапов (от 5 до 6), что необходимо для адаптации к новым требованиям предприятий двигателестроения, судостроения и топливно-энергетического комплекса.

**Технология SCR.** Технология очистки отработавших газов дизелей от  $\text{NO}_x$  с применением SCR-процесса разработана и доведена до промышленного применения более 40 лет назад. В настоящее время производство этого оборудования и его компонентов, адаптированного для судовых условий, локализовано в Дании, Швеции, Финляндии и Германии. Производители декларируют эффективность очистки газов от  $\text{NO}_x$  величиной более 90 %.

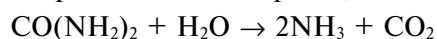
В Российской Федерации первая пилотная установка очистки отработавших газов дизелей от  $\text{NO}_x$ , работающая по SCR-процессу, была создана в ЦНИДИ в 1991–92 гг. Позднее, в 1999 г., на основании результатов проведенного комплекса НИОКР ЦНИДИ в кооперации с РНЦ «Прикладная химия» была спроектирована и построена первая промышленная установка мощностью 10 МВт для очистки газов дизельной испытательной станции завода «Русский лизель» с одновременным решением всех сопутствующих технологических задач, таких как выпуск опытных партий катализаторов и создание средств автоматического контроля и управления параметрами процесса. Состав, технология производства катализаторов и система автоматического управления процессом были запатентованы [5, 6].

После продолжительных и детальных исследований и последующей опытной эксплуатации было сделано заключение о пригодности и эффективности технологии очистки газов по SCR-процессу для стационарных наземных установок и нецелесообразности ее применения в судовых условиях вследствие присущих ей весьма существенных недостатков.

SCR-процесс ведется в присутствии титан-ванадиевых катализаторов при температуре 300–450 °С по реакциям



В зоне реакции (перед катализатором) аммиак образуется при термическом разложении водного раствора мочевины по реакции



Кроме очевидных недостатков этой технологии, таких как значительные габариты и масса реактора, сопоставимые с размерами двигателя (рис. 2), что является следствием низкой скорости процесса восстановления  $\text{NO}_x$  при объемных скоростях не более  $(7-8) \cdot 10^3 \text{ ч}^{-1}$  в оптимальном температурном диапазоне 300–450 °С, применение SCR-реакторов на судах сопровождается значительными технологическими и эксплуатационными рисками.

В данном случае к технологическим отнесены риски, которые могут возникнуть вследствие объективных недостатков процесса очистки газов

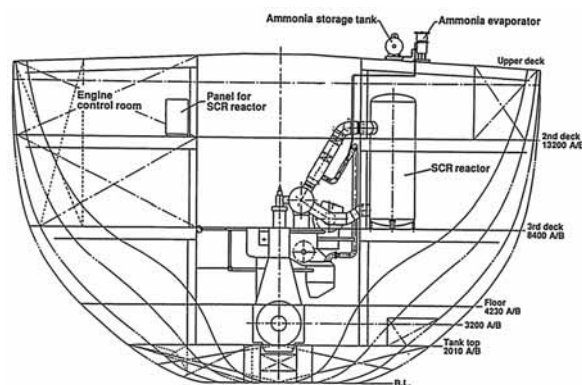


Рис. 2. Главный судовой дизель с SCR реактором в корпусе судна

и ограничений для его применения в судовых условиях.

К основным технологическим рискам относятся:

- опасность появления в выпускной системе дизеля не вступившего в реакцию газообразного аммиака, не менее токсичного, чем  $\text{NO}_x$ , вследствие работы двигателей в эксплуатации с переменной нагрузкой и с учетом тепловой инерции катализаторов;

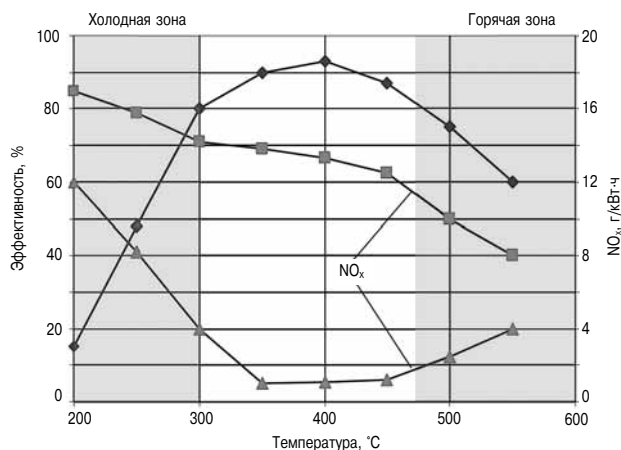
- несоответствие «температурного окна» наибольшей эффективности процесса, превышающей 80 % диапазону изменения температуры отработавших газов судовых дизелей в реальных условиях эксплуатации, в результате чего имеются зоны неэффективной работы катализатора;

- наличие в отработавших газах компонентов, приводящих к быстрой и невозможной потере работоспособности катализаторов, таких как продукты горения серы, частицы, аэрозоли смазочного масла.

Поясним это на конкретном примере применения системы с SCR-процессом для судового среднеоборотного дизеля, работающего на винт постоянного шага (рис. 3).

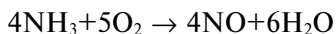
При работе двигателя с нагрузкой в диапазоне от 10 до 25 % от номинальной мощности температура отработавших газов снижается до 200–300 °С, при этом эффективность очистки газов соответственно убывает до 50 % и менее. Если принять во внимание, что такие режимы работы являются доминирующими при движении судов, например, в местах интенсивного судоходства, проливах, каналах, вблизи портов, при маневрировании и швартовных операциях, то применение на судах систем очистки газов на основе SCR-процесса оказывается недостаточно эффективным и даже опасным вследствие появления и горения в этой относительно «холодной зоне» избыточного аммиака.

Избыточный аммиак в условиях низкой температуры частично выбрасывается в атмосферу, а



**Рис. 3. Изменение эффективности SCR-процесса при работе судового дизеля по винтовой характеристике**

частично (или в зависимости от температуры полностью) при недостатке кислорода окисляется на катализаторе с образованием окиси азота по реакции



Попытки нивелировать этот негативный эффект сокращением подачи аммиака приводят к еще большему снижению эффективности или прекращению процесса в «холодной зоне».

В зонах высоких нагрузок при температуре более 450 °C аммиак начинает частично выгорать на катализаторе по реакции



что также снижает эффективность процесса примерно до 60 %.

В результате реальная эксплуатационная эффективность установок с SCR-процессом оказывается существенно ниже декларируемой (в среднем 60–70 %), а на режимах малых нагрузок установки с SCR-процессом оказываются просто бесполезными.

Весьма существенным недостатком SCR-процесса является резкое (в 4–5 раз) и необратимое сокращение ресурса работы катализаторов при повышенном содержании серы в топливе (более 0,3–0,5 %) вследствие химического «отравления» катализатора продуктами горения серы и загрязнения бисульфатом аммония ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ), образующимся в реакции окислов серы с избыточным аммиаком. Неслучайно в зонах контроля выбросов с упреждением предусматривается снижение содержания серы в топливе до безопасной для SCR-процесса величины в 0,1 %. Здесь необходимо пояснить, что в соответствии с требованиями Правила 14 пересмотренного Приложения VI к МК МАРПОЛ 73/78 содержание серы в топливе для Балтийского и Северного морей устанавливается на уровне 0,1 % начиная с 01.01.2015 г., в то время как для всех остальных

районов судоходства ограничение содержания серы в топливе на уровне 0,5 % вводится только с 01.01.2020 г. В случае эксплуатации судна, оснащенного SCR-реактором, за пределами Балтийского моря существует высокая степень вероятности бункеровки судна топливом с высоким содержанием серы и риск быстрого химического «отравления» катализаторов.

Работа установок с SCR-процессом в судовых условиях также сопровождается комплексом эксплуатационных рисков, к которым относятся загрязнение катализатора сажей и аэрозолями топлива и смазочного масла, залповый выброс которых наблюдается при неисправностях топливной аппаратуры, деталей цилиндрико-поршневой группы или турбокомпрессора. При возникновении неисправностей двигателя ресурс работы катализаторов вообще невозможно спрогнозировать. Под ресурсом в данном случае понимается время работы катализатора до снижения его активности (эффективности) на 30 % по отношению к первоначальному уровню активности. Приемлемым ресурсом для титан-ванадиевых каталитических блоков считается ресурс 8–10 тыс. мото-часов, что примерно соответствует двухгодичной наработке главного судового двигателя. Перечисленные технологические и эксплуатационные риски могут привести к необходимости замены катализаторов ежегодно, что в совокупности с затратами на утилизацию отработавших ресурс катализаторов может привести к росту эксплуатационных затрат судовладельцев на 20–25 %.

Нельзя не отметить, что SCR-процесс, кроме прочего, способствует увеличению выхода в атмосферу парниковых газов (паров воды и  $\text{CO}_2$ ), что также регулируется правилами ИМО. Например, восстановление одного киломоля окиси азота  $\text{NO}$ , возможно обеспечить за счет термического разложения одного киломоля водного раствора мочевины. При этом образуется 34 кг  $\text{NH}_3$  и 44 кг  $\text{CO}_2$ , то есть при обезвреживании  $\text{NO}_x$  в атмосферу дополнительно выбрасывается  $\text{CO}_2$  в количестве, примерно равном количеству восстановленных окислов азота (или 10 % от расхода топлива), что снижает конструктивный коэффициент энергоэффективности судна, регулирующий сокращение выброса в атмосферу парниковых газов.

Рассмотренных существенных недостатков технологии с SCR-процессом уже достаточно, чтобы аргументировано показать спорность или, по меньшей мере, дискуссионность ее безальтернативного применения.

**Альтернативные технологии.** В отчетах рабочей группы ИМО, возглавляемой специалистами США [7], рассматривается возможность при-

менения на судах перспективных альтернативных технологий, способных обеспечить достижение требований IMO Tier-3, но пока не освоенных в промышленных масштабах, а именно: технология применения сжиженного нефтяного или природного газа (LNG, LPG); технология рециркуляции отработавших газов (EGR). Кратко дается оценка потенциальных возможностей использования в дизелях жидких альтернативных топлив с заключением о том, что в случае замены топлива на альтернативное эффект оказывается недостаточным для обеспечения снижения выбросов  $\text{NO}_x$  до уровня IMO Tier-3.

В целях аргументированного ведения дискуссии нами была выполнена независимая экспертная оценка эффективности возможных альтернативных технологий, основанная на результатах экспериментальных и расчетных исследований (рис. 4).

Технология применения сжиженного природного газа (LNG) по существу относится только к способу хранения на борту необходимого запаса топлива, что не влияет на механизм горения газового топлива в дизелях и поршневых двигателях (RIC-engines). К бесспорным преимуществам газовых двигателей можно отнести полное отсутствие в продуктах сгорания окислов серы, частиц и снижение выбросов  $\text{CO}_2$  на 25 % вследствие меньшего содержания углерода в газовом топливе.

Двигатели с воспламенением газа впрыском пилотного дизельного топлива (газодизели или двигатели двойного топлива) по уровню выбросов  $\text{NO}_x$  надежно обеспечивают требования IMO Tier-2, но не достигают требований IMO Tier-3

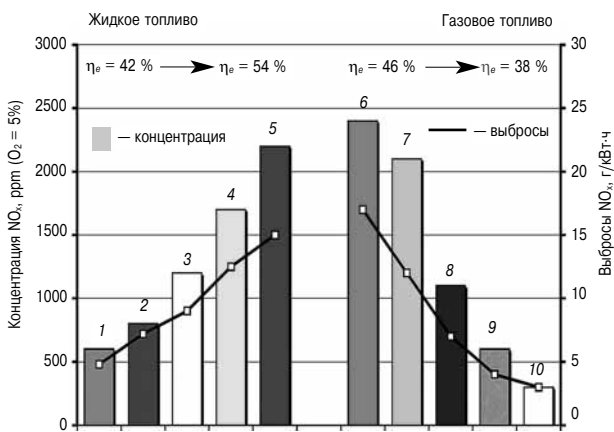


Рис. 4. Выбросы  $\text{NO}_x$  при работе ДВС на альтернативных топливах

1 — диметилэфир; 2 — этанол; 3 — биодизель; 4 — дизельное топливо, среднеоборотные дизели; 5 — тяжелое топливо, малооборотные дизели; 6 — газодизель (15 % пилотного топлива); 7 — газодизель (5 % пилотного топлива); 8 — газовый двигатель с искровым зажиганием; 9 — газовый двигатель с форкамерно-факельным зажиганием; 10 — газовый двигатель с наддувом бедной смеси

(см. рис. 4). Количество выбросов  $\text{NO}_x$  в двигателях этого типа снижаются пропорционально уменьшению цикловой подачи запального топлива, а минимально возможная подача запального топлива (1–2 %) может сопровождаться неустойчивой работой и пропуском вспышек.

Газовые двигатели с искровым и форкамерно-факельным зажиганием рабочей газо-воздушной смеси более перспективны и принципиально могут обеспечить требования IMO Tier-3, но только за счет значительного (на 10–15 %) снижения эффективного КПД, что приводит к ухудшению конструктивного коэффициента энергоэффективности. Наиболее перспективный газовый двигатель с рабочим процессом, основанным на использовании сверхвысокого наддува «бедной» смеси, принципиально обеспечивает требования IMO Tier-3 при снижении эффективного КПД до 38 %, что вполне приемлемо, хотя и требует заметного увеличения запасов топлива на борту.

Необходимо принять во внимание, что на газовые двигатели (RIC-engines) требования Правила 13 Приложения VI к МК МАРПОЛ 73/78 вообще не распространяются, поскольку по принятой классификации газовые двигатели не относятся к двигателям с воспламенением от сжатия (дизелям). Поэтому двигатели этого типа могут устанавливаться на судах и эксплуатироваться, в том числе, в зонах НЕСА без доработки конструкции и без всяких ограничений.

При всех очевидных преимуществах применения на судах природного газа в качестве моторного топлива инфраструктурная готовность портов для доставки и хранения необходимых запасов сжиженного природного газа, а также бункеровки судов этим видом топлива полностью отсутствует.

Возможности технологии рециркуляции отработавших газов (EGR) ограничены предельной величиной соотношения  $\text{O}_2/\text{CO}_2$  во впускном воздухе, что ограничивает количество продуктов сгорания на впуске величиной не более 30 %. Вследствие этого ограничения только за счет рециркуляции отработавших газов обеспечить требования IMO Tier-3 принципиально невозможно. Однако в сочетании с комплексом других конструктивных усовершенствований двигателя, таких как:

- топливная система аккумуляторного типа «common rail» с высокими параметрами впрыска и регулируемым углом опережения подачи топлива;

- двухступенчатая система регистрового наддува с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха после первой и второй ступени и регулируемым перепуском воздуха;

— промежуточное охлаждение газов в контуре рециркуляции с отделением конденсата, задача может быть успешно решена.

При этом конструктивная сложность как самого двигателя, так его систем, в особенности системы управления, значительно повышает его стоимость (по нашим оценкам на 60–80 %) при неизменном снижении показателей надежности и ресурса. Практически все лидеры мирового дизелестроения демонстрируют сегодня опытные образцы подобных двигателей, при этом не называя их стоимость, что только подтверждает самые неблагоприятные экспертные оценки.

#### **Выводы и предложения**

Приведенное краткое содержание позиции российской делегации позволило убедить участников 65 сессии КЗМС ИМО в справедливости следующих основных выводов.

1. Расчетная оценка вклада выбросов  $\text{NO}_x$  в атмосферу над акваторией Балтийского моря от судового трафика, приведенная в отчете рабочей группы HELCOM, на основе которой делается вывод о необходимости придания статуса NECA Балтийскому морю с 10.01.2016 г., существенно завышена, а действительный вклад выбросов в атмосферу от коммерческого судоходства представляет наименьшую опасность по сравнению с другими видами транспорта и береговыми источниками загрязнения.

2. Рекомендация внедрения на флоте технологии и селективного каталитического восстановления  $\text{NO}_x$  аммиаком (SCR-процесс) как безальтернативной для снижения выбросов  $\text{NO}_x$  от главных и вспомогательных судовых дизелей до уровня IMO Tier-3 принципиально не правильна или заведомо тенденциозна в силу ее существенных недостатков при отсутствии готовых к промышленному внедрению других альтернативных технологий.

3. Альтернативные технологии применения сжиженного природного газа (LNG) и рециркуляции отработавших газов (EGR) перспективны и являются стратегически правильным направлением развития судового двигателестроения, однако стадия их промышленного освоения недостаточна и не обеспечена соответствующей портовой инфраструктурой. Достижение требований IMO Tier-3 за счет технологии (EGR) приводит к значительному удорожанию двигателей при непрогнозируемых показателях надежности и ресурса.

4. Принятие решения о придании статуса Балтийскому морю области контроля выбросов  $\text{NO}_x$  (NECA) с 01.01.2013 недостаточно обосновано технически, технологически и экономически, а поэтому преждевременно. Подобные решения

должны предусматривать для судовладельцев и операторов, как минимум, наличие многовариантных технических и технологических решений. В приведенных обоснованиях доминируют, прежде всего, экономические и политические мотивы заинтересованных сторон при несопоставимо малом экологическом эффекте для региона Балтийского моря.

5. По состоянию на сегодняшний день можно констатировать, что до сих пор не имеется экспертно подтвержденной оценки предстоящих материальных затрат судовладельцев в случае придания Балтийскому морю статуса зоны контроля выбросов  $\text{NO}_x$  (NECA), что в принципе не допустимо.

По результатам дискуссии большинством голосов дата введения в Балтийском море зоны контроля выбросов  $\text{NO}_x$  (NECA) и стандарта по ограничению выбросов  $\text{NO}_x$  для судовых дизелей на уровне IMO Tier-3 была перенесена на пять лет с 01.01.2016 на 01.01.2021 гг.

---

#### **Литература**

1. HELCOM 32/2011, «Proposal to designate the Baltic Sea as an Emission Control Area for Nitrogen Oxides», Report of the NECA correspondence group, Document 4/4, Helsinki, Finland, March 2011, 88 p.

2. Новиков Л.А. Контроль дымности и выбросов вредных веществ от судовых двигателей и судов. Научно-технический сборник трудов Российского морского регистра судоходства. № 26. — СПб.: РМРС, 2003. — С. 245–262.

3. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2009 году. Сборник трудов Комитета по природопользованию охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга / Под ред. Д.А. Голубева и Н.Д. Сорокина. — СПб., 2010. — 438 с.

4. Новиков Л.А., Вольская Н.А. Обобщенные данные для расчета выбросов в атмосферу двигателями водного транспорта // Двигателестроение. — 2009. — № 4. — С. 24–30.

5. Храмов Б.Л., Юрченко Э.Н., Новиков Л.А. Сотовый блочный катализатор восстановления окислов азота аммиаком. Патент РФ № 2061543, приоритет от 01.08.94 г., зарегистрирован в Государственном реестре изобретений 10.06.94 г.

6. Грудин Л.Ю., Новиков Л.А., Петров Ю.В. Система для нейтрализации оксидов азота в отработавших газах двигателя внутреннего сгорания. Патент РФ № 2036315, приоритет от 29.12.92 г., зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 27.05.95 г.

7. MEPC 65/4/7 «Final report of the Correspondence Group on Assessment of Technological Developments to Implement the Tier III  $\text{NO}_x$  Emission Standards under MARPOL Annex VI» IMO, London, February 2013, 22 p.