

## СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МАЛОТОКСИЧНОЙ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ

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

Проекты международных, региональных и национальных нормативных документов поэтапно ужесточают требования к техническим нормативам выбросов поршневых ДВС и прогнозируют к 2010 году установить их по  $\text{NO}_x$  на уровне 1–3 г/кВт·ч. В соответствии с природоохранным законодательством РФ для стационарных промышленных установок и автономных источников электроснабжения с ДВС указанный уровень выбросов действует уже сегодня.

В статье рассмотрены готовые к промышленному внедрению и находящиеся в стадии разработки варианты технологий модернизации современных двигателей, обеспечивающие поэтапное снижение выбросов  $\text{NO}_x$  до заданного уровня. Показана многовариантность обеспечения малотоксичной работы двигателей, включая повышение качества традиционных и применение альтернативных топлив, совершенствование конструкции двигателей и их систем, использование различных технологий для очистки газов. Выполнена оценка повышения стоимости различных вариантов малотоксичных двигателей в сравнении с базовой модификацией.

### Требования к показателям выбросов дизелей различного назначения

Несмотря на многочисленные прогнозы и заключения экспертов, предсказывающих бесперспективность поршневых двигателей внутреннего сгорания и их замену на транспорте и в автономной энергетике на газовые турбины и альтернативные источники энергии, рост энергооборуженности общества продолжается в основном за счет увеличения выпуска поршневых двигателей.

Столь широкое распространение поршневых двигателей внутреннего сгорания на транспорте и в автономной стационарной энергетике определяется тем, что в диапазоне мощностей от 5 кВт до 20 МВт (рис. 1) поршневые двигатели, особенно дизели сегодня и на ближайшую перспективу, имеют недостижимый для других тепловых двигателей эффективный КПД, равный 45–55 %.

Токсичность отработавших газов двигателей оценивается нормируемыми и ненормируемыми компонентами, опасность которых общепризнана (табл.1). К нормируемым компонентам относят те из них, на образование и выход которых влияет конструкция двигателей.

Выбросы нормируемых компонентов характеризуются техническими нормативами, значения которых соответствуют достигнутому в настоящее время техническому уровню двигателей. Предельно допустимые значения этих нормативов, осредненные в пределах эксплуатационной характеристики и выраженные в г/кВт·ч, установлены международными и национальными стандартами, которые действуют в сфере производства двигателей.

После установки на объекте применения в действие вступают другие стандарты и нормативные документы, распространяющиеся на установки и транспортные средства с двигателями. При этом в эксплуатации предельно допустимые значения выбросов вредных веществ могут значительно превышать технические возможности двигателей.

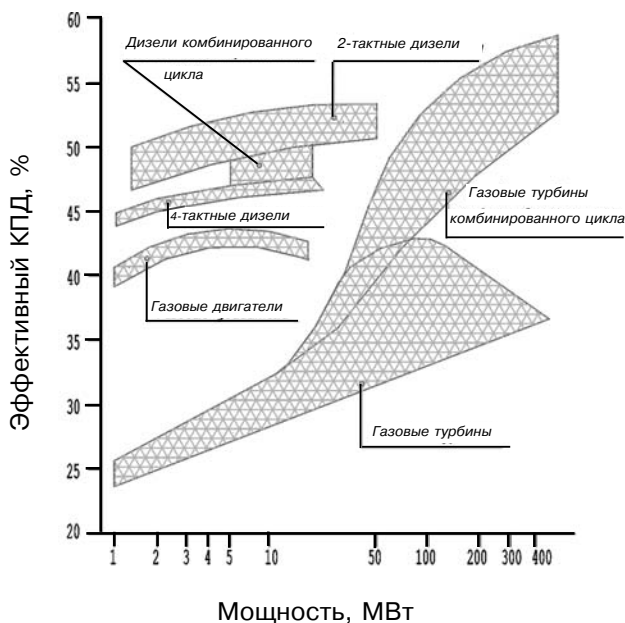


Рис. 1. Эффективный КПД дизелей, газовых двигателей и турбин

Таким образом, стандарты в области охраны окружающей среды регулируют и прогнозируют развитие технического уровня ДВС.

Технические нормативы выбросов для дизелей различного применения, но близкого класса мощности и быстроходности, приблизительно одинаковы. Некоторые различия определяются, в основном, особенностями испытательных процедур. Выдвинутый тезис подтверждается данными, приведенными в табл. 2 и 3.

Существенные количественные отличия в значениях выбросов наблюдаются только для судовых среднеоборотных (с частотой вращения менее 500 об/мин) и крейцкопфных малооборотных двигателей, выбросы которых достигают 17–20 г/кВт·ч. С точки зрения сегодняшних знаний о кинетике образования NO<sub>x</sub> при горении топлива в дизеле эти отличия совершенно очевидны и не требуют детального анализа.

К сожалению, в Российской Федерации программа введения в действие технических норма-

тивов выбросов для автомобильных дизелей постоянно корректируется по срокам, что дезориентирует производителей двигателей и снижает их и без того невысокий потенциал конкурентоспособности.

Требования к техническим нормативам выбросов судовых двигателей в настоящее время определяются Правилем 13 Приложения VI к Международной конвенции МАРПОЛ 73/78 и «Техническим кодексом по ограничению выбросов NO<sub>x</sub> от судовых дизельных двигателей». Через пять лет после вступления в силу Приложения VI к Международной конвенции МАРПОЛ 73/78, то есть ориентировочно в 2010 году, запланировано снижение предельно допустимых выбросов для судовых дизелей примерно в два раза, а еще через пять лет на — 95 %, то есть приблизительно до 1 г/кВт·ч.

Согласно действующему природоохранному законодательству РФ, независимо от значения установленных для промышленного дизеля

Таблица 1

Характеристика вредных выбросов дизелей

Наименование, обозначение компонента	Содержание в отработавших газах		Предельно допустимая концентрация		Индекс токсичности для атмосферы
	Концентрация	Удельный выброс	В атмосфере	В воздухе рабочей зоны	
	мг/м <sup>3</sup>	г/кВт·ч	мг/м <sup>3</sup>	мг/м <sup>3</sup>	
Компоненты, нормируемые стандартами на двигатели					
Окислы азота, сумма по NO <sub>2</sub>	1500–3500	8–20	0,085	2	17000–41000
Частицы (С)	50–400	0,25–2,0	0,15	4	300–2600
Оксид углерода (СО)	500–2000	2,5–10	5,0	20	100–400
Углеводороды (СН), сумма по С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub>	25–250	0,25–2,5	5,0	—	5–50
Не нормируемые компоненты, опасность которых общепризнана					
Окислы серы, сумма по SO <sub>2</sub>	50–500	0,25–2,5	0,15	4	300–3000
Альдегиды, сумма по акролеину	10–40	0,05–0,2	0,03	0,2	350–1400
ПАУ, сумма по бенз(α)пирену	0,3 · 10 <sup>-3</sup>	1,5 · 10 <sup>-3</sup>	1 · 10 <sup>-6</sup>	1,5 · 10 <sup>-4</sup>	До 300

Таблица 2

Технические нормативы выбросов автомобильных дизелей

Стандарт, дата введения в Европе/России	Испытательная процедура	СО	НС	NO <sub>x</sub>	PM	Дымность, FSN
		г/кВт·ч				
Евро-1, 1992/1999	ECE R-49 (13 режимов)	4,5	1,1	8,0	0,36	—
Евро-2, 1995/2003	ECE R-49 (13 режимов)	4,0	1,1	7,0	0,15	—
Евро-3, 2003	ESC & ETC	2,0	0,66	5,0	0,10	1,5
Евро-4, 2007	ESC & ETC	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5

Таблица 3

## Стандарты и технические нормативы выбросов судовых и промышленных дизелей

Стандарт, год разработки/введения	Назначение дизеля, ограничения	Нормируемый параметр	Значение нормы, г/кВт·ч	Классификационный признак, испытательная процедура
Стандарт ИМО Techn. code-NO <sub>x</sub> МЕРС 39/1, 1997/2005	Судовой главный, вспомогательный $P_e > 130$ кВт $n > 120$ об/мин	NO <sub>x</sub>	9,8–17	$e_{NO_x} = f(n)$ 4-ступенчатые циклы серии E (ISO 8178-4)
Европа, ЕЕА, Правила безопасности на внутренних водных путях, 2000/2007	Судовой $P_e > 130$ кВт $n > 500$ об/мин	NO <sub>x</sub>	9,2–13,0	$e_{NO_x} = f(n)$ 4-ступенчатые циклы серии E (ISO 8178-4)
		CO	5,0	
		CH	1,3	
		PM	0,54	
США EPA64 FR 73300 marine diesel, 1999/2006	Судовой	NO <sub>x</sub>	11,4	4-ступенчатые циклы серии E (ISO 8178-4)
		CO	6,2	
		CH	1,3	
		PM	0,54	
Россия, ГОСТ Р 51249, 1999/2000	Судовой	NO <sub>x</sub>	9,8–17	$e_{NO_x} = f(n)$ 4-ступенчатые циклы серии E (ISO 8178-4)
		CO	3,0	
		CH	1,0	
Россия, ГОСТ Р 51249, 1999/2000	Промышленный	NO <sub>x</sub>	10,0	5-ступенчатый цикл серии D (ISO 8178-4)
		CO	3,0	
		CH	1,0	

Таблица 4

## Технические нормативы выбросов дизелей и газотурбинных двигателей в составе автономной электростанции 1,0–3,5 МВт

Силовая установка	Эффективный КПД	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
		г/кВт·ч			
Промышленные дизели	45–48	1,0–3,0	0,4–1,0	7,0–10,0	0,15–0,40
Газотурбинные двигатели	27–30	0,8–1,4	0,2–0,4	3,0–4,5	0,05–0,08

технических нормативов выбросов, содержание вредных веществ в зоне рассеивания шлейфа отработавших газов промышленной стационарной установки не должно превышать предельно допустимой концентрации (ПДК), установленной для атмосферы (см. табл. 1). Для выполнения этого требования современные промышленные дизели, работающие в составе дизельных электростанций, буровых установок и других промышленных объектов, должны быть оборудованы средствами очистки газов, работающими с эффективностью не ниже 90 %, то есть уже сегодня обеспечивать выполнение требований, которые для двигателей других применений будут действовать только через 10–15 лет. Однако на практике стационарные промышленные установки с дизелями эксплуатируются без систем очистки газов; требования закона РФ «Об охране атмосферного воздуха» (№ 99-ФЗ от 04.05.1999) повсеместно не выпол-

няются и трудно предположить, как долго существующее положение будет сохраняться.

Справедливости ради необходимо отметить, что стационарные газотурбинные установки хотя и превосходят поршневые двигатели по техническим нормативам выбросов, но без очистки газов также не могут обеспечить требования природоохранного законодательства. Для сравнения в табл. 4 приведены характеристики четырехтактных дизелей и газотурбинных двигателей, работающих на авиационном керосине, в диапазоне мощностей 1,0–3,5 МВт. Приведенные данные получены аккредитованной в системе МАКО испытательной лабораторией «НПФ Экология».

К ненормируемым компонентам относятся вредные вещества, образующиеся при горении топлива в двигателе, но технические нормативы на них не установлены, поскольку их образование

и выход не зависит от конструкции двигателя. К этим веществам относятся окислы серы, циклические и полициклические ароматические углеводороды, альдегиды и т. д. Достаточно корректным будет предположение о том, что содержание в отработавших газах ненормируемых компонентов определяется химическим составом и качеством топлива.

Анализ возможных направлений поэтапного совершенствования технических нормативов выбросов современных поршневых двигателей показывает, что наиболее перспективны:

- повышение качества традиционных и применение альтернативных топлив;
- совершенствование конструкции двигателей и их систем;
- разработка эффективных и доступных материалов и оборудования для очистки газов.

#### **Повышение качества традиционных и применение альтернативных топлив**

##### **Традиционные топлива**

Качество топлива в основном оказывает прямое влияние на содержание в отработавших газах ненормируемых вредных компонентов и в зависимости от состава может влиять на выбросы нормируемых компонентов. Так, например, имеются прямые зависимости между содержанием серы в топливе и содержанием окислов серы и частиц в отработавших газах. Содержание циклических и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в топливе пропорционально повышает дымность отработавших газов и т. д.

Специально проведенным циклом исследований на быстроходных дизелях были получены новые данные о том, что ПАУ не образуются в двигателе, если они не содержатся в исходном топливе и воздухе, используемом для сгорания. При работе на дистиллятом топливе и чистом воздухе ПАУ в составе отработавших газов не обнаружены, а при наличии ПАУ в воздухе их количество в отработавших газах даже снижалось, что говорит об их разрушении в высокотемпературных зонах горения.

Влияние на эмиссию  $\text{NO}_x$  (наиболее опасного компонента в составе отработавших газов) непосредственно проявляется через органические соединения азота, входящие в состав топлива. Возможно также косвенное влияние на образование термических  $\text{NO}_x$  через скорость горения топлива и температуру пламени. Однако топливные  $\text{NO}_x$  характерны только для тяжелых топлив и составляют не более 5% от термических окислов.

Расчеты и многочисленные эксперименты показали, что совокупный эффект по снижению всех вредных выбросов, полученный за счет

улучшения качества традиционного топлива, достаточно заметен и находится в пределах 10–20 %.

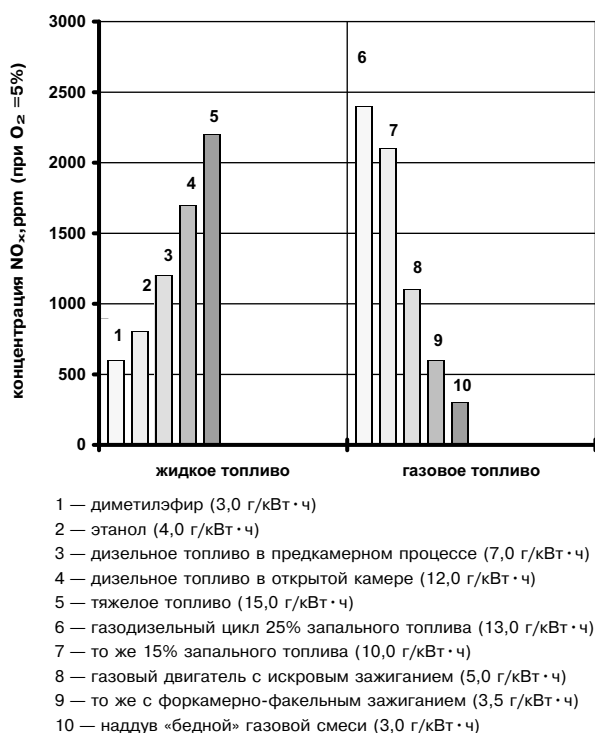
Различные присадки к топливам позволяют улучшать их моторные качества и воздействовать на состав отработавших газов. У специалистов, работающих в этом направлении, появился новый термин — «легирование» топлива [1]. Эффективны антидымные присадки к топливу на основе различных металлов, являющихся катализаторами горения. Эффект по снижению дымности отработавших газов от применения присадок на основе бария может достигать 40–60 %. Эти присадки селективно воздействуют на процесс горения углерода и практически не влияют на кинетику образования других компонентов. Однако антидымные присадки не получили широкого распространения из-за того, что продукты их горения образуют твердые частицы ( $\text{BaSO}_4$ ) непосредственно в камере сгорания и повышают вероятность возникновения «задилов» трущихся поверхностей.

##### **Альтернативные топлива**

Радикально воздействовать на показатели вредных выбросов можно использованием альтернативных топлив. Это одно из возможных направлений модернизации двигателей, обещающих значительный эффект, в особенности по снижению выбросов  $\text{NO}_x$ . К таким топливам, уже прошедшим экспериментальную, а в ряде случаев и эксплуатационную проверки, можно отнести спирты, природный и сжиженный газ, кислородсодержащие синтетические топлива, например диметилэфир [2] и другие.

Все последующие комментарии о результатах испытаний двигателей, работающих на альтернативных топливах, поясняет рис. 2. Измеренная концентрация  $\text{NO}_x$  приведена к концентрации кислорода в отработавших газах  $\text{O}_2 = 5,0\%$  для приведения к равной степени разбавления продуктов сгорания воздухом, не участвующим в горении. Этот показатель характеризует кинетический механизм образования  $\text{NO}_x$ . В то же время газовые двигатели работают с меньшим избытком воздуха (за исключением процесса с наддувом бедной смеси), поэтому изменение удельных выбросов  $\text{NO}_x$  не пропорционально изменению их концентрации.

Спирты, относящиеся к возобновляемым видам топлива, бесспорно, имеют большие преимущества перед топливами нефтяного происхождения в отношении снижения выхода  $\text{NO}_x$  и сажи. Применение спирта значительно проще реализовать в двигателях с принудительным зажиганием, чем в дизелях, что определяется физическими свойствами спирта, не обладающего



**Рис. 2. Образование и выход NO<sub>x</sub> при работе дизеля на различных топливах**

смазывающим действием. В дизелях спирты возможно и целесообразно использовать только в виде добавок к стандартному топливу.

Значительные перспективы имеет синтетическое топливо диметилэфир (ДМЭ), содержащее в своем составе до 35% кислорода. При горении ДМЭ образуется в 3–4 раза меньше NO<sub>x</sub>, чем при горении стандартного топлива полностью отсутствуют частицы.

Создание двигателей двойного топлива (газодизелей) или газовых двигателей на конструктивной базе дизелей уже сейчас активно и успешно осваивается промышленностью. Одно из бесспорных преимуществ газового топлива — практически полное отсутствие частиц в отработавших газах. Выход же окислов азота зависит от способа организации рабочего процесса, то есть переход на газовое топливо вовсе не гарантирует достижение экологической безопасности двигателя.

Применение газового топлива в газодизельном цикле при условии сохранения мощности и возможности работы на дизельном топливе не только не снижает, а повышает на 10–15% образование и выход NO<sub>x</sub> по сравнению с базовой модификацией дизеля. Это происходит в связи с возникновением локального высокотемпературного очага горения, которым служит факел запального топлива. При этом концентрация несгоревшего газового топлива обратно пропорциональна количеству запального топлива и составляет 0,2–0,5%.

Газовые двигатели с искровым зажиганием по уровню выбросов окислов азота соответствуют малотоксичным предкамерным дизелям. Двигатели с форкамерно-факельным способом зажигания газовой смеси можно в полной мере отнести к разряду малотоксичных, поскольку уровень их выбросов равен и даже несколько меньше, чем при работе дизелей на спиртовых смесях. Наддув и сжигание «бедных» газовых смесей в двигателях считается наиболее перспективным рабочим процессом газового двигателя, позволяющим снизить удельные выбросы NO<sub>x</sub> до уровня 3,0 г/кВт·ч, что трудно достижимо для других видов топлива.

Оценивая перспективы использования альтернативных топлив, необходимо учитывать значительные материальные затраты на модернизацию двигателей, организацию их производства и создание инфраструктуры для эксплуатации и сервиса.

### Совершенствование конструкции двигателей и их систем

Унификация требований экологической безопасности двигателей поставила российских и зарубежных производителей в равные конкурентные условия, которые в сегодняшней экономической ситуации не выгодны для отечественных производителей из-за более низкого качества их продукции.

В силу прекращения в России разработок по совершенствованию и созданию новых двигателей, их технико-экономические и экологические показатели не соответствуют современному уровню. Двигатели отечественного производства, по сравнению с зарубежными аналогами, характеризуются повышенными расходами топлива и масла, имеют меньшую на 15–20% литровую мощность, и одновременно большую на 20–25% металлоемкость. Для большинства малоразмерных двигателей характерна повышенная дымность отработавших газов вследствие низких давлений впрыска топлива. Однако невысокое качество российских дизелей компенсируется меньшей в 2–2,5 раза ценой.

Наиболее слабым элементом двигателей отечественного производства является топливная система. Необходимая для качественного смесеобразования и низких выбросов вредных веществ топливная аппаратура должна обеспечивать давление впрыска топлива, равное 900–1200 бар. Такая аппаратура отсутствует не только в производстве, но и в разработках. Для применения топливной аппаратуры зарубежного производства необходимо менять конструкцию и значительно повышать мощность привода топливного насоса, что не всегда возможно.

В отношении доработки других систем справедлив известный принцип, состоящий в том, что незначительные изменения в конструкции дают незначительный отклик.

Для достижения современного технического уровня большинство отечественных двигателей должны быть подвергнуты модернизации, которая предусматривает последовательность или комбинацию следующих мероприятий:

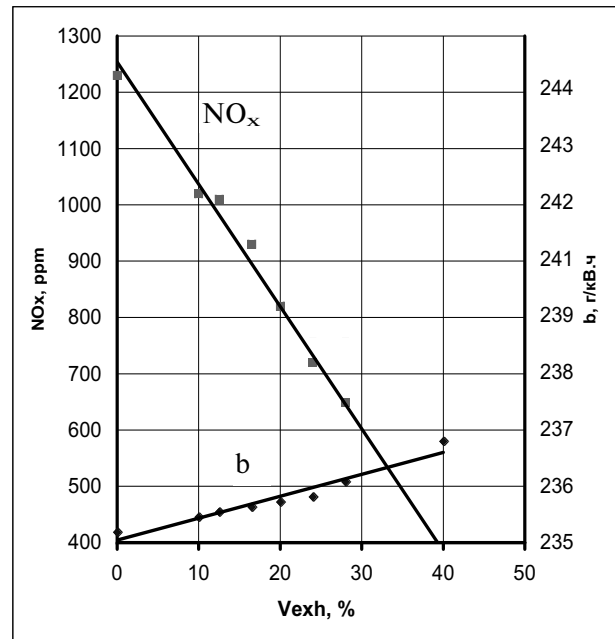
- непродолжительный интенсивный впрыск топлива, смещенный ближе к ВМТ для снижения скорости тепловыделения и количества теплоты, выделившейся за время повышения давления в цилиндре до максимального значения;

- организация турбулентного движения заряда за счет конструкции впускных клапанов, а также ориентации топливных струй в объеме камеры сгорания для более равномерного распределения топлива;

- повышение коэффициента избытка воздуха в зоне горения и снижение температуры воздушного заряда для понижения общего температурного уровня процесса.

Среди многочисленных технологий, относящихся к организации малотоксичной работы поршневых двигателей, наиболее привлекательной является технология частичной рециркуляции отработавших газов. Эта технология уже давно вошла в практику применения на двигателях горно-транспортных машин, работающих в пространствах с ограниченным воздухообменом. При рециркуляции часть воздуха на всасывании замещается отработавшими газами, и воздействие на процессы горения топлива и кинетику образования вредных веществ осуществляется за счет сокращения количества кислорода и изменения термодинамических свойств рабочего тела. Главным преимуществом этой технологии является то, что за счет рециркуляции сокращается массообмен с атмосферой и меняется количественный состав вредных выбросов, в особенности в части снижения содержания  $\text{NO}_x$  (рис. 3). К недостаткам рециркуляции относятся трудности организации полного сгорания топлива в цилиндре при наличии большого количества углекислого газа и недостатке кислорода. Однако этот недостаток может быть устранен добавками в рабочее тело необходимого количества кислорода [3].

С ужесточением требований к выбросам в атмосферу к этой технологии, известной более 30 лет, вновь обратились ведущие производители автомобильных двигателей. Так, фирма «Scania» выбрала рециркуляцию отработавших газов в качестве долгосрочной стратегии для уменьшения выбросов вредных веществ до уровня Евро 4.



Дизель 4С9,5/11,  
цилиндровая мощность 5,0 кВт,  $\text{O}_2 = 21 \%$

**Рис. 3. Показатели малотоксичного дизеля с рециркуляцией отработавших газов, обогащенных кислородом**

В этой технологии не требуется никаких дополнительных реагентов и никакого дополнительного оборудования для установки на двигателе.

Одним из последних достижений науки о двигателях в области управления образованием и выходом вредных веществ при горении топлива в двигателях является создание так называемого «интеллектуального» двигателя, в котором работой систем подачи топлива и газообмена управляет процессор, позволяющий менять закон подачи (следовательно и закон горения) топлива, а также фазы газораспределения, в зависимости от нагрузочного и скоростного режимов. В двигателях с электронным управлением, как правило, предусмотрен режим работы с уменьшенным выбросом  $\text{NO}_x$ .

Работы по созданию систем электронного управления двигателем, начатые ведущими дизелестроительными фирмами мира более 10 лет назад, завершились постановкой на производство небольших серий «интеллектуальных двигателей», о чем имеются регулярные сообщения в специальной литературе и пресс-релизах таких фирм, как «Caterpillar», «General Electric», «MAN B&W Diesel A/S» и др. [4].

Электронное управление системами дизеля позволяет осуществлять гибкое управление двигателем в зависимости от преследуемой цели управления и конкретного режима работы. Дви-

гатель с электронным управлением за счет гибкого регулирования топливной аппаратуры и системы газообмена (внутренняя рециркуляция) может настраиваться на «режимы малых выбросов», при которых эмиссия  $\text{NO}_x$  может быть снижена на 25–40 %.

#### Очистка газов

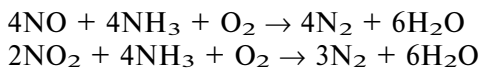
Из всего многообразия методов и технологий очистки отработавших газов дизелей до стадии промышленного внедрения доведены:

- каталитическое окисление продуктов неполного сгорания топлива;
- каталитическое восстановление окислов азота аммиаком;
- фильтрация газов от частиц.

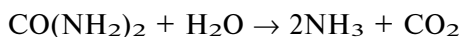
В силу достижения высокого качества рабочего процесса современных дизельных двигателей актуальность применения технологий каталитического окисления продуктов неполного сгорания топлива и фильтрации газов от частиц невысока. Каталитические окислительные нейтрализаторы целесообразно использовать разве что в газовых двигателях или в двигателях двойного топлива из-за большого количества в отработавших газах несгоревшего газового топлива.

Технология селективного каталитического восстановления  $\text{NO}_x$  аммиаком (SCR-процесс), несмотря на известные ее недостатки, находит все более широкое применение. В начале 1990-х годов эта технология и оборудование применялись исключительно в составе стационарных дизельных электростанций и силовых судовых установок. В последние пять лет, в силу необходимости снизить выбросы  $\text{NO}_x$  до 2,0–3,5 г/кВт·ч, эта технология все более широко внедряется на транспорте, в частности на тяжелых магистральных грузовиках с двигателями фирмы «Cummins» [5].

SCR-процесс ведется в присутствии титанованадиевых катализаторов при температуре 300–420 °С по реакциям:



Главным аргументом оппонентов применения этой технологии является опасность газообразного аммиака. Степень опасности снижается заменой водного раствора аммиака на водный раствор мочевины, к хранению которого не предъявляется каких-либо специальных требований. В зоне реакции аммиак образуется при разложении водного раствора мочевины по формуле:



Однако остается нерешенной проблема улавливания избыточного и не вступившего в реакцию газообразного аммиака.

Компании «Nissan» и «Mitsubishi» уже объявили о создании в Японии инфраструктуры из 1300 станций заправки грузовиков водным раствором мочевины на пунктах технического обслуживания «Mitsubishi».

Несмотря на настойчивое продвижение SCR-технологии ведущими производителями двигателей, мы, опираясь на собственный опыт применения SCR-технологии для стационарных установок, не считаем данное решение оптимальным. На наш взгляд, основанный на результатах успешно законченных экспериментальных исследований, необходимо развигать более привлекательные альтернативные технологии.

На сегодняшний день активно и успешно ведутся исследования процессов селективного каталитического восстановления  $\text{NO}_x$  компонентами природного газа и дизельного топлива (SCR CH-процессы). Значительное развитие за прошедшие 10 лет получила технология обработки газов нетермической (холодной) плазмой, позволяющая осуществлять одновременную очистку отработавших газов дизеля от окислов азота и продуктов неполного сгорания топлива [5]. Несмотря на недостаточную изученность кинетики процессов трансформации  $\text{NO}_x$  в холодной плазме и неоднозначность связи скорости этих процессов с энергозатратами, на дизеле мощностью 5 кВт нами экспериментально была получена степень очистки газов от  $\text{NO}_x$  от 30 до 60 %. Этот результат дает основания для дальнейшего развития данной технологии как весьма перспективной.

Одной из нерешенных проблем эксплуатации систем очистки газов является проблема защиты катализаторов от сажи и аэрозолей масла при работе двигателя на режимах с низкой нагрузкой. Для обеспечения работоспособности и сохранения высокой эффективности катализаторов, нами создана система их защиты, обеспечивающая коагуляцию, улавливание и дожигание частиц и аэрозолей. Устройство, в котором накапливаются частицы, выполнено из пенометалла ячеистой структуры и периодически регенерируется без разборки реактора за счет его разогрева токами высокой частоты (ТВЧ), для чего в корпусе реактора установлен индуктор ТВЧ.

#### Технологии для обеспечения малотоксичной работы двигателей

Известно, что все технологии сокращения выхода  $\text{NO}_x$  связаны с удорожанием стоимости дизелей в изготовлении, не считая роста производственных расходов на обслуживание в эксплуатации. По данным зарубежных исследователей и нашим оценкам, увеличение стоимости малотоксичного дизеля, по сравнению с базовым, может достигать 250 % (табл. 5).

## Технологии снижения NO и дополнительные затраты на их реализацию

Альтернативные технологии	Уровень NO <sub>x</sub> , %	Стоимость по отношению к базовой, %
Дизельные двигатели с турбонаддувом	100	100
Дизельные двигатели с турбонаддувом, подачей топлива при высоком давлении	85	130
Дизельные двигатели с турбонаддувом, электронным управлением подачей топлива и фазами газораспределения	65	150
Дизельные двигатели с турбонаддувом, электронным управлением подачей топлива и фазами газораспределения, и рециркуляцией отработавших газов	40	180
Газовые двигатели с форкамерно-факельным зажиганием и наддувом «бедной» смеси	30	200
Дизельные и газовые двигатели с системой очистки газов (SCR-процесс, плазменный реактор, трехкомпонентный нейтрализатор)	10	250

**Выводы**

Проблема достижения действующих и перспективных технических нормативов выбросов вредных веществ и дымности отработавших газов является комплексной и ее решение требует совместных усилий конструкторов, производителей двигателей и производителей топлива. Уже сегодня разработаны технологии и технические средства, с помощью которых имеется возможность обеспечить малотоксичную работу поршневых двигателей с уровнем выбросов окислов азота не более 1–3 г/кВт·ч.

Интенсивно ведутся разработки перспективных безотходных плазменных технологий очистки газов, а также совершенствуются технологии каталитической очистки газов, не требующих дополнительных реагентов. К сожалению, наша отраслевая наука переходит от активных действий в развитии этого направления, к наблюдению за успехами стратегических противников и конкурентов.

Несмотря на то что применение альтернативных топлив в двигателях одновременно с решением экологических проблем расширяет топливную базу и способствует устойчивому развитию автономной энергетики на конкурентной основе, развитие этого направления успешно сдерживается нефтяным лобби. Исключение в данном секторе развития энергетики многовариантных решений является стратегической ошибкой. Расширение спектра потребляемых двигателями топлив, прежде всего возобновляемых и гарантирующих радикальное

улучшение экологической безопасности, должно стать одним из стратегических направлений развития автономной энергетики и транспортного комплекса страны.

Независимо от вида топлива, сгорающего в поршневой машине, актуальность разработок в области создания новых технологий очистки газов возрастает. При этом преимущественное развитие получают комплексные технологии, не использующие в процессе очистки газов дефицитных материалов и дополнительных реагентов.

**Литература**

1. Данилов А.М., Митусова Т.Н., Микутенок Ю.А. Присадки к дизельным топливам в России (ассортимент и назначение) // Двигателестроение. — № 1. — 2000. — С. 21–23.
2. Новиков Л.А., Кулешов А.А. Создание малотоксичных дизелей для горно-транспортной техники. Горный журнал — № 11,12. — 2002. — С. 65–70.
3. Новиков Л.А., Вольская Н.А. Моделирование рабочего процесса и эмиссии окислов азота (NO<sub>x</sub>) малотоксичного дизеля с рециркуляцией отработавших газов, обогащенных кислородом // Двигателестроение. — № 1. — 1996. — С. 13–19.
4. Обозов А.А. Интеллектуальный двигатель производства ОАО БМЗ — взгляд в будущее // Двигателестроение. — № 4. — 2003. — С. 31–34.
5. Messenger B. Euro 4 Standards Reached In On-Highway Application. «Diesel Progress» International Edition. July-August, 2003. — P. 36–39.
6. Van Veldhuizen E.M., Rutgers W.R., and Bityurin V.A. Energy efficiency of NO removal by Pulsed corona discharges. Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 16. — N 2, 1996. — P. 227–245.