

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ДИЗЕЛЕЙ НА ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Н. В. Батурин¹, Д. С. Печенникова², Г. В. Медведев³, А. А. Новоселов⁴

¹ Новосибирское высшее командное училище (военный институт), г. Новосибирск

^{2, 3, 4} Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул

Основной проблемой, возникающей при снижении вредных выбросов на рабочий процесс дизеля, является снижение топливной экономичности и увеличение выбросов продуктов неполного сгорания при определении мероприятий, направленных на снижение выбросов оксидов азота. Это отмечено в работах С. А. Батурина, И. Л. Варшавского и Р. В. Малова, В. В. Горбунова и Н. Н. Патрахальцева, О. И. Демочки, В. Н. Ложкина, О. И. Жегалина, П. Д. Лупачева, А. С. Лоскутова, В. А. Звонова, В. Ф. Кутенева, А. З. Филиппова, А. Л. Новоселова, В. А. Вагнера, В. И. Смайлиса, А. А. Мельберт и многих других отечественных и зарубежных исследователей.

В таблице 1 приведено содержание основных нормируемых компонентов в отработавших газах дизелей.

Другой проблемой является оптимизация турбулизации заряда в цилиндрах двигателей с различными способами смесеобразования: объемным (ОС), объемно-плёночными (ОПС), плёночными (ПС), вихрекамерным (ВКС), предкамерным (ПКС). Здесь указана ранговая последовательность по топливной экономичности и обратная ранговая зависимость по удельным выбросам ок-

сидов азота NO_x при оптимальной турбулизации заряда в цилиндре.

Проблемой является и выполнение требований ЕВРО-стандартов по всем компонентам одновременно, поскольку оптимизация регулировок топливной аппаратуры, условий наполнения и организации смесеобразования настроена на получение высокой топливной экономичности.

Ужесточающие требования ЕВРО-стандартов к уровням дымности и токсичности дизелей привели к положению, когда стало невозможно добиваться требований ЕВРО-4 и ЕВРО-5 однозначными техническими решениями. В таблице 2 приведены требования ЕВРО-стандартов на примере дизелей для автомобилей классов.

Накопленный опыт совершенствования дизелей в целях снижения уровней вредных выбросов с отработавшими газами при одновременном повышении топливной экономичности, оценки перспектив развития дизелей, выполненные фирмой AVL (Австрия), НИИАТ и ЦНИДИ (Россия) и другими, говорят о том, что на ближайшие десятилетия конкурентоспособными остаются дизели как без наддува, так и с газотурбинным наддувом.

Таблица 1 – Содержание основных нормируемых компонентов в отработавших газах дизелей

Компоненты отработавших газов дизелей	Концентрация в отработавших газах в объемной массе, г/м ³			Удельные выбросы, г/(кВт·ч)	
	по В.И. Смайлису	по данным фирмы «Bosch»		по В.И. Смайлису	по данным фирмы «Bosch»
		min n	режим полной мощности		
Оксид углерода – CO	0,25...2,50	0,125...0,562	0,44...2,50	1,5...12,0	2,2...10,0
Оксиды азота – NO _x	2,00...8,00	0,10...0,51	1,23...5,125	10,0...30,0	6,15...20,5
Углеводороды – C _x H _y	0,25...2,0	0,19...1,91	до 0,57	1,5...8,0	до 2,28
Твердые частицы – ТЧ	0,05...0,50	0,02	до 0,2	0,25...2,0	до 0,8

Таблица 2 – Динамика нормирования выбросов дизельных грузовых автотранспортных средств и автобусов, г/(кВт·ч)

Ступень	Год введения	Частицы	NO _x	C _x H _y	CO
ЕВРО-1	1993	0,36	8,0	1,1	4,5
ЕВРО-2	1996	0,15	7,0	1,1	4,0
ЕВРО-3	2000	0,1	5,0	0,66*	2,1
ЕВРО-4	2005	0,02	3,5	0,46*	1,5
ЕВРО-5	2008	0,02	2,0	0,25*	1,5

*Неметановые углеводороды

В то же время с годами изменяются приоритеты отдельных требований к качествам дизелей. Если в 1990-е гг. для автомобильных дизелей приоритеты складывались в порядке важности: скоростные качества, расход топлива, ресурсы топлива, токсичность отработавших газов, технические возможности производства, то в начале 2000-х гг. изменение требований и приоритеты выстраиваются в следующем порядке: ресурсы топлива, токсичность отработавших газов, расход топлива, скоростные качества, технические возможности производства.

Стратегия снижения уровней вредных выбросов дизелей сводится во многом к решению двуединой задачи – снижения токсичности отработавших газов и повышения топливной экономичности.

Известно, что наиболее экономичными являются дизели с объемным смесеобразованием. Они же имеют наиболее низкие уровни вредных выбросов твердых частиц с отработавшими газами.

В то же время, как показывает опыт эксплуатации и исследований, дизели с объемным смесеобразованием выбрасывают наибольшее (до 10,5 г/м³) количество оксидов азота. Отмечен опыт использования неразделенных, открытых камер сгорания с завихрителями заряда во впускном патрубке при создании дизелей типа 8ЧН21/21 и с завихрителями заряда во впускном патрубке при создании дизелей БМД 6ЧН15/18 с предпосылками снижения уровней выбросов NO_x.

Максимум выбросов NO_x дизелями с объемным смесеобразованием приходится по нагрузочной характеристике, как правило, на нагрузки от 62,5 % до 87,5 % от N_{ен}. Оптимальной интенсивностью вихревого движения воздушного заряда в камере сгорания является такая, при которой заряд, вращаясь как твердое тело, за время впрыска топлива

поворачивается на угол, равный углу между соседними факелами топлива.

При объемно-пленочном смесеобразовании процесс сгорания протекает «мягче», максимальные температуры сгорания несколько ниже, чем при объемном, часть топлива сгорает при испарении его со стенок камеры сгорания. Это и определяет более низкие скорости окисления азота вблизи ВМТ. Дизели с объемно-пленочным смесеобразованием имеют незначительные выбросы ТЧ, умеренные выбросы CO, C_xH_y, NO_x. Уровень выбросов окислов азота достигает 7...7,2 г/м³ при нагрузках 69...92 % от N_{ен} по нагрузочной характеристике.

Резервами улучшения топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов дизелей с ОПС является применение теплозащитных покрытий (ТЗП).

Согласно опыту ОАО «Алтайдизель» и ЧТЗ, применение стальных накладок на поршни, например, по патенту Великобритании № 1519647, приводит к мелкомасштабной турбулизации заряда вблизи стенок камеры сгорания.

Фирма «HINO» (Япония) предложила, запатентовала и успешно выпускает дизели с высокоэкономичным и малотоксичным процессом с мелкомасштабной турбулизацией заряда, основанным на эффекте микросмешения и многоочагового воспламенения. При разработке процесса обращено большое внимание на изменение концентрационной неоднородности топливоздушную смеси в камере сгорания. Процесс получил название НММС (Хино Микро Микинг Систем), изобретение оформлено заявкой Японии № 1 – 15685 FO2 В 23/06.

Свой малотоксичный и высокоэкономичный процесс, обеспечивающий низкую дымность отработавших газов, разработала фирма «Изудзу моторс» (Япония). Фирмой «Ко-

матцу Лтд» (Япония) разработан рабочий процесс, получивший сокращенное название МТСС (Микро Турбуленсе Комбашн Чамбе), основанный на микротурбулизации воздушного заряда в скругленных углах квадратной камеры сгорания в поршне.

В НИКТИД (Россия) разработан рабочий процесс на основе камеры сгорания в поршне, боковые стенки которой выполнены в виде отдельных секций с участками перехода в днище и отдельными друг от друга выступающими ребрами (а.с. № 1315630). В АлтГТУ им. И. И. Ползунова также разработана и испытана камера сгорания в поршне (патент РФ № 1456622), обеспечивающая мелкомасштабную турбулизацию заряда вблизи стенок. Исследования В. Ю. Русакова показали, что при улучшении топливной экономичности дизеля ЧН13/14 наблюдалось снижение выбросов NO_x с 7,2 до 4,8 г/м^3 на режиме номинальной мощности. Подобные процессы разработаны на основе изобретений по патентам США № 4176628, ФРГ № 2753341 и др.

Таким образом, резервом и перспективой для дизелей является применение мелкомасштабной турбулизации воздушного заряда вблизи стенок камер сгорания.

Практически не уступают по топливной экономичности дизелям с объемно-плочным смесеобразованием отдельные конструкции дизелей с плочным смесеобразованием и полуразделенными камерами сгорания. Выбросы окислов азота такими дизелями не превышают 4,1 г/м^3 . Процессы с плочным смесеобразованием используются в автомобильных и тракторных дизелях MAN RABA-MAN (Венгрия), Минского моторного завода (Белоруссия), ЧТЗ (Россия). Опыт фирмы «Perkins» (Великобритания) показал, что применение камер сгорания с зауженной горловиной приводит к снижению дымности газов в 1,33 раза, максимальная температура цикла понижается на 360 °С.

Концепция достижения уровней норм ЕВРО-стандартов поэтапно, представленная фирмой AVL (Австрия), предполагает уменьшение подигольного пространства в распылителях закрытых форсунок, поднятие поэтапно давления впрыска до 1000...1400 бар, сдвиг момента начала впрыска к ВМТ и функциональной связи его с частотой вращения коленчатого вала и нагрузкой, температурой цикла, в сочетании с объемно-плочным, плочным смесеобразованием и применением сажевых фильтров и каталитических нейтрализаторов отработавших га-

зов. В 1998 г. фирма «Citroen» инвестировала в разработку нового дизеля с непосредственным впрыском топлива HDI три миллиарда франков (HDI-High Pressure Direct Injection). Топливная экономичность турбодизеля с $V_h = 2$ л при $N_e = 110$ л.с., $n = 4000$ мин^{-1} улучшена на 20 %, вредные выбросы снижены на одну треть.

Фирма «Mercedes-Benz» уже выпускала такие дизели с 1997 г.

При этом повышение топливной экономичности и снижение токсичности дизелей происходит за счет влияния на характеристики тепловыделения.

Стратегия развития рабочих процессов не связывается с вихрекамерным и предкамерным смесеобразованием, несмотря на то, что дизели с вихревыми камерами выбрасывают максимально до 2,6 г/м^3 NO_x .

Их сравнительно невысокая топливная экономичность, плохие пусковые качества не позволяют считать их альтернативными в будущем.

В некоторых работах указывается, что в связи с дальнейшим ужесточением норм ЕВРО-4 по выбросам NO_x до 3,50 г/(кВт·ч) , учитывая ограниченные возможности повышения качества топлива, при форсировании предполагается установка форсунок в центре и на периферии камер сгорания с различными углами шатра между факелами топлива.

Перспективы решения проблемы и развития связываются и с совершенствованием систем газотурбинного наддува (ГТН) с охлаждением наддувочного воздуха (ОНВ). По этому пути идут фирмы «Комацу» (Япония), «Камминс», «Катерпиллер», «Аллис Чалмерс» (США), MTU (ФРГ) и др.

Охлаждение наддувочного воздуха является эффективным и дешевым способом повышения мощности, снижения теплонапряженности, сокращения выбросов NO_x с отработавшими газами при повышении эффективного КПД на 2...4 %. Фирмой «Камминс» (США) сделано заключение о том, что прирост η_e составляет: с применением компаундной турбины – 7 %, при увеличении энергии распыливания топлива – 2 %, при повышении КПД ТКР – 5 %, введением ТЗП – 3 %, использованием преобразователей импульсов перед ТКР – 2 %. Не исключается применение сочетаний мероприятий с типами смесеобразования.

Проведенный анализ отечественных и зарубежных разработок, опубликованных в печати, посвященных анализу путем снижения вредных выбросов дизелей, говорит о

том, что путь применения альтернативных топлив в основном связан с решением задач развития топливной базы. При этом не всегда совпадают ожидаемые результаты испытаний на топливную экономичность и токсичность отработавших газов. В ряде случаев для обеспечения работы двигателей на альтернативных топливах необходимы конструкторские доработки не только систем топливоподачи, но и самих дизелей. И в этом проявляется проблема.

При добавлении дорогостоящих присадок в топливо встает вопрос об их экономном расходе на тех режимах, когда их добавление необходимо.

Создание дополнительных не универсальных систем топливоподачи также является проблемой.

Снижению вредных выбросов с отработавшими газами дизелей путем нейтрализации на выпуске посвящены работы Б. А. Адамовича, С. В. Белова и Л. Л. Морозова, И. Л. Варшавского и Р. В. Малова, В. Я. Груданова, Г. С. Лугина, О. И. Жегалина и Н. А. Китроского, Ю. С. Медведева, А. А. Мельберт, А. Л. Новоселова и А. А. Жуйковой, М. О. Османова, В. И. Смайлиса и другие.

Проблема заключается в том, что для осуществления нейтрализации отработавших газов в качестве катализаторов используют редковалентные и благородные металлы. Решение вопроса их полного или частичного замещения дешевыми и доступными катали-

заторами представляет собой важнейшую народнохозяйственную задачу.

Существующий в мире опыт не касается таких замещений в материалах, полученных технологиями самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Из сказанного выше следует, что решение вышеуказанной проблемы является актуальным как с практической, так и с теоретической точек зрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аллилуев, В. А. Топливо-экономические и экологические показатели ДВС / В. А. Аллилуев, Ю. Н. Сидыгаков, А. С. Скуридин // Тракторы и с/х машины. – 2005. – № 1. – С. 14-16.
2. Гатаулин, Н. А. Исследования возможности снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами на базе двигателя КамАЗ размерности 120×130 мм / Н. А. Гатаулин, Р. Х. Гафизов, Н. М. Исхаков // Акт. вопр. созд. топливопод. систем дизелей: мат. н.-т. конф. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2002. – С. 34-36.
3. Иващенко, Н. А. Дизельные топливные системы с электронным управлением: учеб.-практ. пособие / Н. А. Иващенко, В. А. Вагнер, Л. В. Грехов. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2000. – 111 с.
4. Русаков, В. Ю. Моделирование образования вредных веществ в цилиндре дизеля / В. Ю. Русаков, В. А. Вагнер, А. Л. Новоселов // Математическое моделирование и исследование процессов в ДВС. – Барнаул : Изд-во, 1997. – С. 84-99.