Разработка перспективных систем нейтрализации отработавших газов дизельного двигателя

Химич В.Л., Хрипач Н.А., Лежнев Л.Ю., Папкин Б.А., Шустров Ф.А., Иванов Д.А., Сонкин В.И., Папкин И.А.
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

ВВЕДЕНИЕ

Экологические проблемы дизеля, связанные с введением жестких стандартов Евро-5 и особенно Евро-6, требуют существенного изменения системы нейтрализации токсичных компонентов отработавших газов (ОГ). Для выполнения перспективных экологических стандартов, дизель должен быть оборудован комбинированной системой нейтрализации, использующей разные типы катализаторов и фильтров - окислительный катализатор для удаления CO, CH и окисления NO в NO2; сажевый фильтр для удержания дисперсных частиц (ДЧ) и конвертирования их в фазе регенерации; восстановительный катализатор для преобразования NOx в молекулярный азот.

Целью настоящей работы является разработка перспективной системы нейтрализации (ПСН) ОГ, обеспечивающей выполнение экологических норм Евро-5 современным дизелем автотранспортного средства (АТС).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка ПСН и отдельных ее элементов базировалась на результатах анализа современных технологий каталитической нейтрализации ОГ дизелей, сравнительной оценке вариантов возможных решений, патентных исследованиях, математическом моделировании физико-химических процессов в системе нейтрализации, использовании при конструировании методов 3D, CAD и CFD моделирования. Эффективность ПСН оценивалась по результатам испытаний в модельных условиях и на двигателе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате анализ разных комбинаций катализаторов и сажевого фильтра принята следующая схема ПСН – дизельный окислительный нейтрализатор (ДОН) + каталитический сажевый фильтр (КСФ) с системой активной регенерации + селективно-восстановительный нейтрализатор (СВН) с системой дозирования восстановителя. СВН разработан в двух вариантах: с использованием водорода (вариант А) или раствора карбамида (вариант Б) в качестве восстановителя NOx. По сравнению с альтернативной схемой - ДОН + СВН + КСФ, принятая схема позволяет использовать пассивную (низкотемпературную) регенерацию сажевого фильтра, что обеспечивает меньший расход топлива на регенерацию КСФ и соответственно меньшие выбросы парникового газа CO2. По сравнению с другой возможной альтернативой - ДОН + КСФ + бедный NOx адсорбер, принятая схема обеспечивает: повышенную конверсию NOx при высоких температурах ОГ; меньший расход топлива, связанный с восстановлением NOx и периодической десульфатацией адсорбера; пониженную склонность к отравлению серой; повышенную долговечность.

Конструкция ПСН разработана применительно к модифицированному 4-цилиндровому дизелю типа ЗМЗ-514.10 рабочим объемом 2,24 л с непосредственным впрыском, турбонаддувом, охладителями надувочного воздуха и рециркулируемых ОГ, обеспечивающего выполнение экологических норм Евро-4. Элементы конструкции ПСН выбраны с учетом достижения синергетического эффекта.

Для этого в качестве активного компонента окислительного нейтрализатора применен алюмоплатиновый катализатор Pt/Al2O3, обеспечивающий не только уменьшение концентрации CO, CH и ДЧ в ОГ, но также пассивную регенерацию фильтра и улучшенную низкотемпературную активность расположенного ниже по потоку СВН (вариант Б) за счет окисления части NO, присутствующих в ОГ в NO2. В сажевом фильтре использован Pt катализатор, который позволяет дополнительно увеличить концентрацию NO2 необходимую для повышения низкотемпературной активности СВН (вариант Б) и пассивной регенерации фильтра. Активную регенерацию обеспечивает периодическая подача топлива, повышающая температуру ОГ в фильтре до 550-850oC, при которой происходит выжигание накопленных частиц сажи кислородом.

Варианты селективно-восстановительного нейтрализатора А и Б различаются между собой материалом каталитического покрытия и системами дозирования восстановителя. Для восстановления NOx водородом (вариант А) применен катализатор Ag/Al2O3, для восстановления раствором карбамида (вариант Б) – катализатор Cu/Zeolite. Для нейтрализации аммиака на выходе из СВН (вариант Б) установлен окислительный нейтрализатор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительные экологические испытания обоих вариантов ПСН показали, что их эффективность достаточна для выполнения экологических требований Евро-5. Более эффективную очистку модельных газов от NOx обеспечивает вариант Б.

Работа по созданию перспективной системы нейтрализации отработавших газов дизельного двигателя проводится при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.