

## Влияние температуры и теплообменных процессов внешней среды на работу нейтрализатора двигателя

*Н.П. Тубалов<sup>1</sup>, Т.В. Новоселова<sup>2</sup>, А.В. Палий<sup>2</sup>, А.А. Шафеева<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Алтайский государственный технический университет*

*<sup>2</sup> Донской государственный технический университет*

**Аннотация:** Твердые частицы (ТЧ) загрязняют фильтрующие поверхности и попадают в поры, а также оседают на поверхностях катализаторов и дезактивируют их. Поэтому в данной статье рассмотрены фильтрующая система и система отчистки. В работе описываются требования к тому, что они должны содержать и обеспечить, какими свойствами и параметрами должен обладать материал фильтров, а также каталитические нейтрализаторы, способствующие повышенному уровню отчистки. Также показано, что система, фильтрующая выхлопные газы, должна быть устойчивой к вибрациям частотой до 150 Гц при ускорении до 4 g. Фильтрующая система и система очистки должна быть оснащена приспособлениями, обеспечивающими регенерацию катализаторов на месте демонтажа. Система очищения должна обеспечивать снижение в выбросах содержания нижеописанных вредных веществ.

**Ключевые слова:** твердая частица (ТЧ), фильтрующая система, система очищения, каталитический нейтрализатор, оксид, внешняя среда, дизельный двигатель.

Состав, температура выхлопных газов, изменение теплообменного процесса с внешней средой, давление и влажность воздуха на входе значительно влияют на работу нейтрализатора дизельных двигателей [1-2]. При выборе фильтра нейтрализатора следует учитывать, что в реакторах катализаторов параллельно осуществляется множество процессов физического, химического, физико-химического и механического характера. Так, в качестве примера, укажем следующее - при наличии каталитических нейтрализаторов, параллельно фильтрующих твердые частицы (ТЧ) при температуре свыше 500 °С последние выгорают на фильтрующих поверхностях [3,4]. ТЧ загрязняют фильтрующие поверхности и попадают в поры, чем создают избыточное давление на выходе дизельных двигателей; - одновременно с серным ангидридом ТЧ оседают на поверхностях катализаторов и дезактивируют их. Выбросы NO и SO, при вступлении в реакцию с водяными парами, способствуют образованию кислот, которые разрушают фильтрующие материалы. Фильтры из пористых материалов одновременно выполняют шумопоглощение выпуска, а также гашение пламени и искр. Фильтрующие системы выхлопных газов имеют ограниченный ресурс и нуждаются в регулярной регенерации. Исходя из изложенного, были установлены следующие основные требования, предъявляемые к фильтрам - катализаторам, служащим для очищения выхлопных газов дизельных двигателей от вредных примесей и ТЧ. При гранулометрическом составе

---

задерживаемых ТЧ, имеющих диаметр в среднем менее 1 мкм, должна соблюдаться степень очищения не меньше 50 процентов [5]. Сажеемкость фильтрующего материала должна обеспечиваться без регенерации при непрерывном двухсменном функционировании дизельного двигателя. Соединение с фильтрующей системой должно быть безопасным и обеспечивать переключение потока выхлопных газов напрямую в атмосферу или в установленную параллельно систему. Система, фильтрующая выхлопные газы, должна быть устойчивой к вибрациям частотой до 150 Гц при ускорении до 4 g. Фильтрующая система и система очистки должны быть оснащены приспособлениями, обеспечивающими регенерацию катализаторов на месте демонтажа. Система очищения должна обеспечивать снижение в выбросах содержания следующих вредных веществ:  $\text{NO}_x$  - до 88,5 %,  $\text{CO}_x$  - до 78 %, суммарного содержания  $\text{C}_x\text{H}_y$  - до 79,5 %, суммарного содержания  $\text{NO}_x$  и  $\text{C}_x\text{H}_y$  – до 86%. Согласно результатам цикла испытаний прогретого двигателя в городских условиях, эффективность очищения определяется удалением следующих составляющих: окислов углерода до 98 %, углеводов до 88 %, окислов азота до 81% (положение 83-02 стандарта Европейской Экономической Комиссии Организации Объединенных Наций). Фильтрующая система и система очищения должны быть автоматизированы для возможности переключения потока выхлопных газов и включения системы, которая регенерирует фильтрующие материалы. Материал фильтров должен иметь пониженное исходное газодинамическое сопротивление, повышенную пористость, водостойкость, простоту конструкции, высокую надежность и экономичность. Срок эксплуатации фильтрующих систем и систем очищения выхлопных газов не должен быть меньше ресурса дизельного двигателя в пределах рабочих температур 100-900 °С. Приведенные выше требования, предъявляемые к фильтрам - нейтрализаторам отработавших газов, используемым для устранения вредных примесей и ТЧ из выхлопных газов дизельных двигателей, не являются полными, но подчеркивают значимость ключевых положений [6,7].

Каталитические нейтрализаторы, адсорбирующие углеводы  $\text{C}_x\text{H}_y$  в расширенном температурном диапазоне, способствующем повышенному уровню очистки, рекомендованы компанией Cataler Corp. Они производятся как монолиты, имеющие каналы (сквозные поры), пропускают газы по направлению к оси и покрыты слоем из  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Ce}-(x+y)\text{Zr}_x\text{MyO}_{2-x}$ . Металлы платина Pt, родий Rh и палладий Pd наносятся на поверхность из окиси алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Каталитический нейтрализатор имеет три слоя, состоящие из титана Ti и окислов  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ . Их комбинирование и смешивание

---

выполняется в соответствии с Патентом Соединенных Штатов Америки № 6602479. В Российской Федерации в компании ОАО «Катализатор» произведен каталитический нейтрализатор для очищения отработавших газов от относительно термостойких окислов азота. Каталитический нейтрализатор является носителем окиси  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , на поверхности которого находится слой с магниевыми, кобальтовыми, лантановыми, празеодимовыми, цериевыми, циркониевыми, бариевыми и палладиевыми соединениями, имеющий толщину от 200 до 100 мкм в соответствии с российским Патентом № 2199386. Исследуя содержимое каталитических нейтрализаторов на носителе, следует учесть, что они являются достаточно материалоемкими и имеют в своем составе стратегический кобальт и редкоземельные металлы: лантан, празеодим, церий и благородный палладий. Американская компания Engelhard Corporation рекомендует изготавливать носитель для катализаторов из соединения активных оксидов Al, Zn, Ti, Zr, (например, Al-Se, Al-Si, Al-Zr, Si-Ti, Si-Ti-Al, Si-Ti-Zr, Zr-Ti, Zr-Al-Ti), Pr, Rh, Ru, Ir. Сорбент для NOX изготавливается как соединение из частиц величиной от 0,001 до 0,2 мкм, имеет в составе 0,1 процент оксида натрия, 1 процент оксида магния, от 10 до 30 процентов оксида железа, от 0,5 до 15 процентов оксида стронция, 5 процентов оксида иттрия, от 0,5 до 15 процентов оксида бария и оксида алюминия. Содержимое наносится на фильтрующий материал, обладающий пористой основой, из металла или керамики [8]. Следует отметить, что технологический процесс включает как создание носителя, так и изготовление его содержимого, которое наносится на поверхность носителя. Эта технология не является безотходной, требует для реализации значительных энергозатрат, а применение церия и тория резко повышает стоимость материала. Технология американской компании Corning Glass для производства монокристаллических пористых металлокерамических материалов (ПММ) из цеолита с величиной пор 0,5-70 мкм и удельной поверхностью 100-120 м<sup>2</sup>/г создает оптимальную температуру поверхности, равную 1300-1400 °С. Эта же компания производит сажевые фильтры Duratrap Advanced Cordierit с оригинальной системой каналов.

Данные разработки основаны на применении технологии спекания порошковых материалов без отходов и с малой энергоемкостью. В описанный состав шихты вместо РЗМ вводятся руды полиметаллов, например, такие как лопарит, ильменит, а также иридий и родий. Таким образом, в настоящее время все острее стоит проблема о максимально эффективной каталитической очистке отработавших газов двигателей внутреннего сгорания. Решение этой проблемы выдвигает несколько частных задач,

---

главными из которых являются установление рационального экономически оправданного качественного и количественного состава шихты, а также структуры материала для фильтров-катализаторов, и, кроме того, разработка перспективной технологии их изготовления [9,10].

### Литература

1. Eberhard Jacob, Lammermann Reinhard, Pappenheimer Andreas, Rothe Dieter (MAN Nutzfahrzeuge Gruppe, Nurnberg) Ein Abgasnach behand lungs system fur Euro 4 // MTZ: Motortechn. Z. – 2005. – 66, № 6. – pp. 448-451.
2. Jung D., Assanis D.N. Quasidimensional modeling of direct injection diesel engine nitric oxide, soot, and unburned hydrocarbon emissions // Trans ASME. J. Eng. Gas Turbines and Power. – 2006. – 128, № 2. – pp. 388- 396.
3. Hamada T., Kadano K., Funabiki M. /Development of non - Ni low H<sub>2</sub>S Pt/Rh/CeO<sub>2</sub> TWC Catalyst. // SAE Techn. Pap. Ser. – 1990. – № 900611. – P. 1-8.
4. Borgnakke C, Sonntag R. Fundamentals of thermodynamics. Wiley, New York, 2009, p 497.
5. Тубалов Н. П., Пролубников В.И., Унгефук А.В. и др. Продуктивность фильтров, очищающих отработавшие газы дизелей // Усиление экологической безопасности автотракт. техники: Сборник статей / Редактор. д.т.н., проф., академик РАТ Новоселов А. Л. / Академия транспорта России, АлтГТУ имени И. И. Ползунова. – Барнаул, 2002 г. – с. 99-103.
6. Груданов В. Я. Теплообменные и физико-химические процессы в каталитических нейтрализаторах с утилизацией теплоты отработавших газов // Двигателестроение. – 1991 год. – N 1. – с. 47-49.
7. Стрельников В. А., Истомин С.В., Ципцын В.И. и др. Сажевые дизельные фильтры // Технологии формирования качества компонентов при восстановлении и упрочнении. – Саратов, 1997 год. – с. 110-113.
8. Новоселова Т. В., Бакланов А.Е., Печенникова Д.С. Очистка отработавших дизельных газов на катализаторах на базе руды монацита // Ползуновский вестник. – 2012 год. – N 3/1. – с. 158-161.
9. Чернов Н.Н., Палий А.В., Саенко А.В., Бесполудин В.В. Исследование распределения температурного поля от точечного источника тепла в конвективном потоке



численными методами // Инженерный вестник Дона, 2017, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4307.

10. Палий А.В., Саенко А.В., Бесполудин В.В. Влияние формы выступа и его расположения на поверхности радиатора на температуру источника тепла // Инженерный вестник Дона, 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/ archive/n2y2016/3661.

### References

1. Eberhard Jacob, Lammermann Reinhard, Pappenheimer Andreas, Rothe Dieter Ein Abgasnachbehandlungssystem für Euro 4 (MAN Nutzfahrzeuge Gruppe, Nürnberg). MTZ: Motortechn. Z. 2005. 66, № 6. pp. 448-451.

2. Jung D., Assanis D.N. Trans ASME. J. Eng. Gas Turbines and Power. 2006. 128, № 2. p. 388- 396.

3. Hamada T., Kadano K., Funabiki M. Development of non Ni low H<sub>2</sub>S Pt/Rh/CeO<sub>2</sub> TWC Catalyst SAE Techn. Pap. Ser. 1990. № 900611. pp. 1-8.

4. Borgnakke C, Sonntag R Fundamentals of thermodynamics. Wiley, New York, 2009, p. 497.

5. Tubalov N. P., Prolubnikov V. I., Ungefuk A. V. i dr. Usilenie jekologicheskoy bezopasnosti avtotrakt. tehniki: Sbornik statej. Redaktor. d.t.n., prof., akademik RAT Novoselov A. L. Akademija transporta Rossii, AltGTU imeni I. I. Polzunova. Barnaul, 2002 g. pp. 99-103.

6. Grudanov V. Ja. Dvigatelsestroenie. 1991. № 1. pp. 47-49.

7. Strel'nikov V. A., Istomin S. V., Cipcyn V. I. i dr. Tehnologii formirovaniya kachestva komponentov pri vosstanovlenii i uprochnenii. Saratov, 1997. pp. 110-113.

8. Novoselova T. V., Baklanov A. E., Pechennikova D. S. Polzunovskij vestnik. 2012, № 3/1. pp. 158-161.

9. Chernov N.N., Palii A.V., Saenko A.V., Bespoludin V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №3. URL: ivdon.ru.ru.magazine.archive.N3y2017.4307.

10. Palii A.V., Saenko A.V., Bespoludin V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/ archive/n2y2016/3661.