

# К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА

Соломин В.А.<sup>1</sup>, к.т.н. Шабанов А.В.<sup>1</sup>, Шабанов А.А.<sup>2</sup>, Килюшник В.М.<sup>2</sup>, Младенский А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский политехнический университет, Москва, Россия, saaha-1955@mail.ru

*В статье рассмотрены вопросы эффективности работы каталитического нейтрализатора автомобилей в эксплуатации с целью решения проблемы снижения загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автомобилей. Проблема снижения выбросов вредных веществ автомобилями считается одной из главных. В статье приведены расчеты эффективности работы нейтрализатора на различных режимах работы ДВС, определены факторы, влияющие на процесс окислительно-восстановительных реакций. Показано, что малое количество кислорода (O<sub>2</sub>) до нейтрализатора лимитирует окислительные процессы и не дает хорошей эффективности снижения по СО и СН. При концентрации O<sub>2</sub> 1,7–0,75 % до нейтрализатора эффективность окислительных реакций в нейтрализаторе является максимальной.*

*Рассмотрены основные требования, предъявляемые к процессу катализации вредных выбросов, и недостатки современных нейтрализаторов. Основной вклад в выбросы СО и СН вносят режимы пуска и прогрева двигателя. Особенно это ощущается в цикле «холодных испытаний» автомобиля по Правилам № 83-06 ООН. Выбросы углеводородов пропорционально возрастают при понижении температуры двигателя. В этой связи рассмотрены новые типы нейтрализаторов, обеспечивающие достижение активности каталитического реактора при более низкой температуре по сравнению с применяемыми на автомобилях в настоящее время, а также бортовые системы диагностики автомобилей, поддерживающие экологические характеристики автотранспортных средств в эксплуатации.*

*Проанализированы причины «старения» нейтрализатора при его эксплуатации, методы диагностики нейтрализатора с целью оценки его технического состояния и бортовые системы контроля. Отмечена актуальность задачи совершенствования конструкции автомобиля с точки зрения ограничения токсичности и системы технического контроля в эксплуатации. Совершенствование экологического контроля автотранспортных средств связано в первую очередь с работоспособностью бортовых диагностических систем автомобиля в эксплуатации и системы каталитической нейтрализации. Приведена нормативная база РФ и ЕС в области экологического контроля автотранспортных средств в эксплуатации.*

**Ключевые слова:** выбросы вредных веществ автомобилями, эффективность нейтрализатора, бортовые системы диагностики, методы технического контроля в эксплуатации.

## Введение

Прогрессирующее ухудшение экологии атмосферы и рост мирового автомобильного парка заставляют правительства разных стран принимать законодательные ограничения на выброс вредных веществ с отработавшими газами автомобилей. За последние десять лет предельно допустимые нормы на выброс вредных веществ (ВВ) в Европе были уменьшены в несколько раз. Нормируемыми составляющими выхлопных газов автомобиля являются СО, СН, NO<sub>x</sub> и твердые частицы [1]. Для выполнения этих норм в автомобиле устанавливается система нейтрализации отработавших газов. Она представляет собой совокупность устройств, включающую в себя каталитический нейтрализатор и функционально связанные с ним датчики и управляющие системы,

обеспечивающую снижение выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами при работе двигателя в различных режимах.

Системы нейтрализации выхлопных газов автомобилями впервые применены в США в 1974 г. Они прошли долгий путь развития и на сегодняшний день являются одним из самых эффективных способов уменьшения токсичных выбросов автомобилями. На первом этапе применялись нейтрализаторы окислительного типа. Они существенно снижали выбросы СО и СН, при неизменных выбросах NO<sub>x</sub>. Данный тип нейтрализатора широко использовался до середины 80-х годов. Ужесточение требований к более токсичным выбросам автомобиля, оксидам азота, привело к созданию окислительно-восстановительного нейтрализатора. Работа трехкомпонентного нейтрализатора стала

возможной благодаря применению системы питания ДВС с обратной связью от кислородного датчика ( $\lambda$  – зонда). В качестве активных компонентов каталитических нейтрализаторов применяют благородные металлы: палладий, платину, родий. Их количество невелико – всего несколько грамм. Они наносятся тончайшим слоем на поверхность носителя, выполненного из нержавеющей стали. Носитель имеет большое число параллельных каналов, за счет которых создается активная поверхность. Драгоценные металлы покрывают носитель нейтрализатора тончайшим слоем, и определяют его высокую стоимость. Каталитический процесс нейтрализации продуктов горения протекает, как правило, при температуре выше 300 °С и при малом времени контакта газов с активными компонентами, что связано с большими скоростями потока отработанных газов ДВС [2]. К основным недостаткам нейтрализатора относят: относительно высокую температуру начала его работы, узкий диапазон работы по составу смеси, чувствительность к сернистым соединениям и другие. Соединения серы влияют на ресурс нейтрализаторов отработавших газов и, соответственно, на эффективность его использования. К катализаторам предъявляются весьма жесткие требования – высокая активность, избирательность каталитического действия, низкое гидравлическое сопротивление, высокая механическая прочность, термостабильность и другие.

Основной вклад в выбросы СО и СН вносят режимы пуска и прогрева двигателя. Особенно это ощущается в цикле «холодных испытаний» автомобиля по Правилам № 83-06 ООН. Испытания показывают, что выбросы углеводородов пропорционально возрастают при понижении температуры двигателя. Немаловажное влияние на скорость разогрева оказывает масса каталитического покрытия. При ее увеличении уменьшается скорость разогрева отработавших газов. Часть выделившейся при нагреве катализатора энергии идет на испарение влаги, содержащейся в отработавших газах автомобиля, что уменьшает скорость его разогрева. Проведенная в 2011 году проверка содержания СО и СН в отработавших газах автомобилей категорий М1,2 и N1,2 находящихся в эксплуатации показала, что среднее содержание СО и СН в отработавших газах и разброс результатов измерений у автомобилей зарубежного производства гораздо ниже чем у отечествен-

ных. Вместе с тем концентрации ВВ в ОГ у зарубежных автомобилей в меньшей степени зависят от пробега с начала эксплуатации. По качеству изготовления и надежности работы нейтрализаторов, отечественные нейтрализаторы значительно уступают зарубежным [2]. При анализе результатов проверки было сделано предположение, что возможной причиной этого могло быть нарушение рецептуры при производстве нейтрализаторов, нарушение технологии нанесения катализатора и недостаточное количество драгоценных металлов в каталитических блоках [2]. По моему мнению, причинами низкой эффективности работы нейтрализаторов при их эксплуатации могут также являться и отклонения в регулировании состава смеси в ДВС.

*Целью работы* является разработка рекомендаций по повышению эффективности каталитического нейтрализатора.

### **Оценка эффективности работы каталитического нейтрализатора**

В широкой практике оценка эффективности работы нейтрализатора осуществляется при испытаниях автомобилей категорий М1 и N1 на соответствие Правилам № 83-06 ООН. Если автомобиль с установленной на нем системой нейтрализации соответствует действующим нормам по выбросам ВВ, то работа нейтрализатора считается удовлетворительной. В данном исследовании оценка эффективности работы каталитического нейтрализатора производилась в стендовых условиях на 32 нагрузочных режимах многопараметрической характеристики ДВС с определением ВВ до и после использования нейтрализатора. Это позволяло рассчитать эффективность работы нейтрализатора на различных режимах, определить влияние состава смеси на процесс окислительно-восстановительных реакций, а также давало дополнительную информацию для понимания процессов происходящих в каталитическом реакторе нейтрализатора. Понимание механизмов окислительно-восстановительных реакций позволит выявить дополнительные резервы снижения ВВ в нейтрализаторе. В рамках данной статьи невозможно рассмотреть все факторы, оказывающие влияния на эффективность работы каталитического нейтрализатора, отметим лишь наиболее важные из них.

Известно, что допустимый диапазон значений коэффициента избытка воздуха  $\lambda$  соглас-

но Директиве 2010/48/ЕС должен находиться в пределах  $1 \pm 0,03$ . Современные электронные системы регулирования состава смеси позволяют с большой точностью поддерживать диапазон регулирования коэффициента избытка воздуха, а также изменять настройки  $\lambda$  в зависимости от поставленных целей. На рис. 1 показана степень эффективности работы каталитического нейтрализатора в зависимости от изменения состава смеси [3]. Из рисунка видно, что наибольшая эффективность нейтрализатора по ВВ с ОГ находится в зоне «окна бифункциональности»  $\lambda = 1$ . При недостатке кислорода в топливно-воздушной смеси (обогащенная смесь) углеводороды и окись углерода полностью не окисляются, а при избытке кислорода (обедненная смесь) оксиды азота полностью не разлагаются на азот и кислород.

При  $\lambda = 0,95$  эффективность очистки CO в нейтрализаторе составляет около 15 %, а CH 20 %. При этом нейтрализация NO<sub>x</sub> достигает максимальной величины > 90 %. Если выдерживать предписанный директивой 2010/48/ЕС диапазон регулирования, то можно обеспечить достаточно хорошую эффективность работы каталитического нейтрализатора. При экспериментальных исследованиях определения эффективности системы нейтрализации ВВ ОГ ДВС автомобиля категорий N1 применялся комплексный газоанализатор *MEXA5120* фирмы *HORIBA*, который позволял, кроме исследуемых вредных веществ, определять концентрацию кислорода O<sub>2</sub> и двуокиси углерода CO<sub>2</sub> до и после нейтрализатора.

Каталитическая активность определялась по формуле [4]:

$$Акт = \frac{C1 - C2}{C1} \cdot 100\%,$$

где C1 – концентрация ВВ в ОГ до нейтрализатора; C2 – концентрация ВВ в ОГ после нейтрализатора.

В табл. 1, 2 и 3 приведены результаты испытаний ДВС на режимах внешней скоростной и по нагрузочным характеристикам. Эффективность работы каталитического нейтрализатора находилась в пределах внешней скоростной характеристики: по CO от 14 % до 65 %, по CH от 43 % до 70 % и по NO<sub>x</sub> 98–99 %. Концентрация кислорода до нейтрализатора составляла от 0,1 до 1,1 %. Работа нейтрализатора с максимальной эффективностью 65–99 % по всем компонентам ВВ достигалась по внешней скоростной

характеристике при  $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ . При этом окислительные процессы в реакторе по образованию продуктов полного сгорания CO<sub>2</sub> достигали 10 %.

Из табл. 2 следует, что если на режимах малых и средних нагрузок  $Re < 0,42$  кислород в ОГ с высокой эффективностью (от 96 до 99 %) участвовал в окислительном процессе, то на нагрузках близких к полному дросселю  $Re > 0,52$  его концентрации было недостаточно для эффективной нейтрализации окиси углерода. На этих режимах работа нейтрализатора находилась за пределами «окна бифункциональности». Малое количество O<sub>2</sub>, до нейтрализатора 0,1–0,2 %, дает эффективность снижения по CO – 14–15 %, по CH 25–48 %. При концентрации O<sub>2</sub> 1,7–0,75 % в потоке ОГ до нейтрализатора эффективность окислительных реакций в нейтрализаторе является максимальной. Процесс образования CO<sub>2</sub> в нейтрализаторе возрастает с уменьшением нагрузки и снижением частоты вращения коленчатого вала. По-видимому, это связано со скоростью потока ОГ в нейтрализаторе.

Из табл. 3 следует, что эффективность нейтрализации выше 75 % по всем ВВ ОГ на частоте вращения коленчатого вала ДВС  $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$  наблюдается в зоне средних нагрузок и близких к полному дросселю  $Re > 0,42$ .

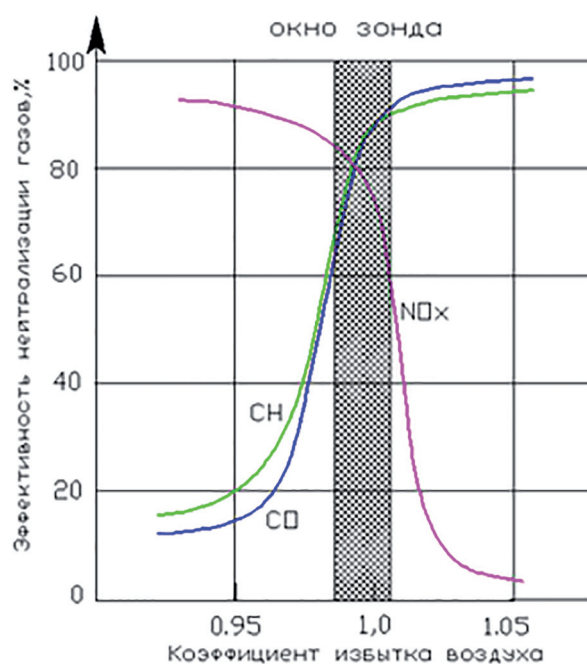


Рис. 1. Эффективность работы каталитического нейтрализатора в зависимости от изменения состава смеси

Таблица 1

## Внешняя скоростная характеристика ДВС автомобиля категории М1

Показатели	Частота вращения коленчатого вала ДВС							
	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
$n$ , мин <sup>-1</sup>	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
СН, ppm до нейтрализатора	3100	3300	2700	3000	2000	2100	2100	2200
СН, ppm после нейтрализатора	1700	1000	1300	1400	1000	1100	1200	1250
Эффект по СН	45 %	70 %	52 %	53 %	50 %	48 %	43 %	43 %
СО, ppm до нейтрализатора	42000	20000	36000	28000	22000	33000	46000	49000
СО, ppm после нейтрализатора	31000	7000	26000	18000	15000	28000	37000	42000
Эффект по СО	26 %	65 %	28 %	36 %	21 %	15 %	20 %	14 %
NO <sub>x</sub> , ppm до нейтрализатора	450	1450	900	1500	2000	1300	850	800
NO <sub>x</sub> , ppm после нейтрализатора	10	10	10	10	10	10	10	10
Эффект по NO <sub>x</sub>	98 %	98 %	98 %	99 %	99 %	98 %	98 %	98 %
$t$ °К ОГ до нейтрализатора	800	850	890	1000	1020	1040	1040	1040
O <sub>2</sub> , % до нейтрализатора	1,1	1,0	0,7	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1
O <sub>2</sub> , % после нейтрализатора	0	0	0	0	0	0	0	0
CO <sub>2</sub> , % до нейтрализатора	12,0	13,5	13,0	14,0	14,3	13,5	12,1	12,0
CO <sub>2</sub> , % после нейтрализатора	13,5	15,0	14,0	15,0	14,9	14,0	13,5	13,0
Образование CO <sub>2</sub> в катализаторе	11 %	10 %	7 %	7 %	4 %	10 %	10 %	7,5 %

Таблица 2

Нагрузочная характеристика ДВС автомобиля категории М1,  $n = 3500$  мин<sup>-1</sup>

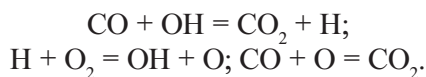
Показатели	Среднее эффективное давление P <sub>е</sub> , МПа							
	0,02	0,2	0,33	0,42	0,52	0,74	0,86	0,93
P <sub>е</sub> , МПа	0,02	0,2	0,33	0,42	0,52	0,74	0,86	0,93
СН, ppm до нейтрализатора	1200	1300	1400	1500	1700	1400	1300	1200
СН, ppm после нейтрализатора	50	50	50	50	50	100	100	900
Эффект по СН	96 %	96 %	96 %	97 %	97 %	93 %	92 %	25 %
СО, ppm до нейтрализатора	14000	11000	10500	10000	9500	12000	13500	31000
СО, ppm после нейтрализатора	10	10	10	10	4000	6000	16000	24000
Эффект по СО	99 %	99 %	99 %	99 %	21 %	15 %	20 %	14 %
NO <sub>x</sub> , ppm до нейтрализатора	600	2000	2800	3200	3300	2900	3000	1500
NO <sub>x</sub> , ppm после нейтрализатора	400	900	1000	500	10	10	10	10
Эффект по NO <sub>x</sub>	33 %	55 %	65 %	84 %	99 %	99 %	99 %	98 %
T гр.К ОГ до нейтрализатора	870	950	980	1100	1030	1050	1050	1010
O <sub>2</sub> , % до нейтрализатора	1,3	1,0	0,85	0,75	0,7	0,5	0,45	0,2
O <sub>2</sub> , % после нейтрализатора	0,2	0,15	0,1	0,05	0	0	0	0
CO <sub>2</sub> , % до нейтрализатора	12,0	13,5	13,0	14,0	14,3	13,5	12,1	12,0
CO <sub>2</sub> , % после нейтрализатора	13,5	15,0	14,0	15,0	14,9	14,0	13,5	13,0
Образование CO <sub>2</sub> в катализаторе	11 %	10 %	7 %	7 %	4 %	10 %	10 %	7,5 %

Нагрузочная характеристика ДВС автомобиля категории N1,  $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$ 

Показатели	Среднее эффективное давление $P_e$ , МПа							
	0,02	0,2	0,33	0,42	0,52	0,71	0,79	0,96
$P_e$ , МПа	0,02	0,2	0,33	0,42	0,52	0,71	0,79	0,96
СН, ppm до нейтрализатора	1500	300	200	720	1700	1960	1860	2560
СН, ppm после нейтрализатора	180	30	30	30	100	100	180	1050
Эффект по СН	99 %	90 %	85 %	93 %	94 %	95 %	90 %	59 %
СО, ppm до нейтрализатора	12500	16000	18000	18000	17000	15000	14000	25500
СО, ppm после нейтрализатора	10	10	10	10	2000	3500	3500	19000
Эффект по СО	99 %	99 %	99 %	99 %	88 %	77 %	75 %	25 %
$\text{NO}_x$ , ppm до нейтрализатора	200	1200	1600	1800	2000	2400	2500	1300
$\text{NO}_x$ , ppm после нейтрализатора	50	1000	1200	50	50	20	20	20
Эффект по $\text{NO}_x$	75 %	17 %	25 %	97 %	98 %	99 %	0,99 %	0,99 %
Т гр.К ОГ до нейтрализатора	810	880	930	940	940	960	970	980
$\text{O}_2$ , % до нейтрализатора	1,2	1,7	1,8	1,7	1,6	1,2	1,0	0,5
$\text{O}_2$ , % после нейтрализатора	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,2	0,45	–
$\text{CO}_2$ , % до нейтрализатора	13,4	12,9	12,8	13,0	13,0	13,2	13,6	13,0
$\text{CO}_2$ , % после нейтрализатора	14,7	14,7	14,8	14,9	14,9	15,0	15,0	14,0
Образование $\text{CO}_2$ в катализаторе	8,5 %	14,0 %	15,6 %	14,6 %	14,6 %	13,6 %	11,8 %	7,7 %

Из теории горения известно, что воздействие кислорода на окисление СО является достаточно сильным. Малая концентрация кислорода в ОГ может лимитировать процесс окисления СО в  $\text{CO}_2$ . Согласно теории процессы окисления происходят последовательно, через два основных этапа: сначала происходит окисление СН в СО и лишь после этого начинается окисление СО в  $\text{CO}_2$ .

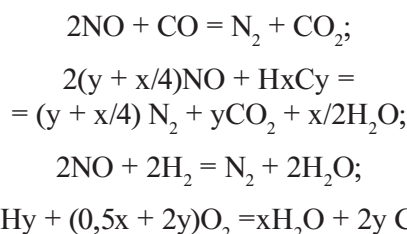
По общепризнанному механизму окисления продуктов неполного сгорания углеводородов, предложенному академиком Н.Н. Семеновым, реакции идут в следующем порядке:



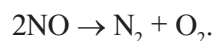
Активными центрами в этой реакции являются радикалы OH, атомарный водород и кислород, образовавшийся в результате распада водяного пара. Реакция предусматривает также и наличие двухатомного кислорода. Химический состав топлива может оказывать существенное влияние на общее количество выбросов как до, так и после каталитического нейтрализатора, т.к., например, химически активные непредельные углеводородные соединения, способные быстро окисляться. При избытке кислорода (обеднении смеси  $\lambda > 1,03$ )

восстановительные реакции по  $\text{NO}_x$  в нейтрализаторе практически прекращаются.

Восстановительные и окислительные реакции в нейтрализаторе [3]:

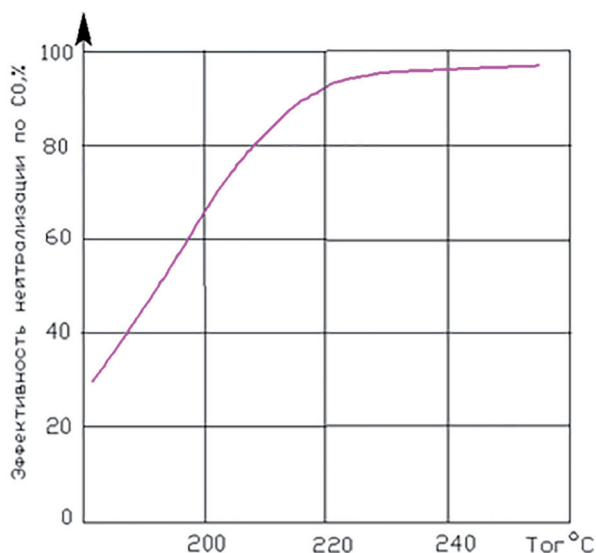


Возможна также реакция разложения оксидов азота на азот и кислород по уравнению:



### **Влияние температуры на процесс каталитической нейтрализации**

Основное количество выбросов вредных веществ имеет место во время пуска и на стадии прогрева двигателя, т.к. каталитическая нейтрализация в полном объеме невозможна из-за низких температур в нейтрализаторе. Быстрое включение нейтрализатора в работу при прогреве двигателя снижает выбросы ОГ. Эффективность окислительных процессов в каталитическом реакторе почти линейно зависит от температуры. По различным литературным



**Рис. 2. Эффективность комбинированного катализатора в зависимости от температуры отработавших газов [4]**

данном интервал рабочей температуры стандартного катализатора составляет 250–450 °C. При низких температурах 200–250 °C в области разогрева катализатора эффективность нарастает незначительно и составляет 20–30 %. При температуре 450 °C эффективность окислительных процессов достигает предельной величины в > 90%. Процесс нейтрализации ВВ зависит также и от работы кислородного датчика. При достижении температуры в 300 °C кислородный датчик начинает работать с максимальной эффективностью. Для скорейшего достижения рабочей температуры лямбда-зонд оборудуется нагревателем.

При создании новых типов нейтрализаторов специалистами ставится цель достижения активности каталитического реактора, начиная с температуры 150–200 °C. В последние годы достигнут значительный успех в этом направлении. Разработан и прошел испытания комбинированный катализатор, в котором активные компоненты Co (кобальт), Re (рений), Pt (платина) введены послойно. На рис. 2 показана зависимость эффективности комбинированного катализатора от температуры [4].

Испытания показали высокую эффективность комбинированного катализатора в зоне температур 180–220 °C. При 180 °C эти катализаторы обеспечивают 32 % очистки ОГ от оксида углерода, а платиновый при данной температур только 12 %. В интервале температур 200–220 °C эта разница составляет еще больше – 50 %. С повышением температуры

300–400 °C наблюдается активность катализаторов до 90 %.

### **Система бортовой диагностики системы нейтрализации**

Поддержание экологических характеристик автотранспортных средств в период эксплуатации является важной природоохранной задачей. Для этого на автомобилях устанавливают систему бортовой диагностики, которая служит для проверки нормального функционирования систем нейтрализации. На входе и выходе из нейтрализатора установлены  $\lambda$  – зонды, при совместной работе которых диагностируется исправность системы нейтрализации. Система бортовой диагностики оценивает также работоспособность элементов электронного управления двигателя.

При первом запуске двигателя нейтрализатор еще не прогрет и находится в нерабочем состоянии. В это время сигналы обоих кислородных датчиков практически одинаковы, так как в нейтрализаторе не происходят каталитические реакции. Когда температура катализатора достигает примерно 300 °C, он прогревается до рабочей температуры. При этих условиях выходное напряжение кислородного датчика за нейтрализатором приближается к среднему значению и составляет приблизительно 0,45 вольт. Датчик имеет слой оксида циркония или титана, покрытого платиной. Он способен реагировать на атомы кислорода и создавать разность потенциалов до одного вольта. Система контроля, установленная на современных автомобилях с бортовой диагностикой, отслеживает эффективность работы катализатора, сравнивая сигналы кислородных датчиков. Кислородный датчик, установленный перед нейтрализатором, анализирует состав выхлопных газов на выходе из двигателя. Датчик кислорода очень чувствителен к отложениям и может изменить свои характеристики. Работа с таким датчиком нарушает оптимальные регулировки состава смеси в ДВС, и нейтрализатор выходит из зоны наивысшей каталитической эффективности, что ведет к росту выбросов ВВ.

Для оценки эффективности работы нейтрализатора в эксплуатации на автомобилях устанавливаются системы бортовой диагностики. Опыт эксплуатации нейтрализаторов в США (*Environmental Protection Agency*) [http://go.mail.ru/redirect?q=Environmental%20Protection%20Agency%20&via\\_page=1&sig=445118388c549bc](http://go.mail.ru/redirect?q=Environmental%20Protection%20Agency%20&via_page=1&sig=445118388c549bc)

443bebe83dd6878b1&redir=http%3A%2F%2Fwww.epa.gov%2Fglobalwarming показывает, что при правильной эксплуатации нейтрализатора эффективная работа нейтрализатора обеспечивается на протяжении пробега 100000–150000 миль (160–240 тыс. км). Новый нейтрализатор в США может стоить более 1000 долларов, в то время как на рынке запчастей – около 300 долларов. Но такие нейтрализаторы содержат меньше каталитического вещества, поэтому гарантия на него предоставляется только на 2 года или на 24000 миль пробега [5].

В странах ЕС в рамках Правил № 83-06 ООН приняты корректирующие коэффициенты, допускающие увеличение выбросов ВВ с ОГ автомобилей в эксплуатации за счет снижения эффективности нейтрализатора [6]. Методика оценки контроля токсичности автомобилей в эксплуатации, применяемая в Правилах № 83-05 ООН, предусматривает оценку контроля токсичности в эксплуатации при пробеге 80 тыс. км. При этом разрешается использовать коэффициент ухудшения токсичных ВВ равный 1,2. Поправка 06 к Правилам № 83 ООН предусматривает дополнительную проверку выбросов при 160 тыс. км и также устанавливает коэффициенты ухудшения по выбросам для CO – 1,5, CH – 1,3 и NO<sub>x</sub> – 1,6 [6]. Эти коэффициенты были введены с учетом эксплуатации автомобилей на стандартном топливе, соответствующем экологическому классу автомобиля. Если рассмотреть динамику допустимого снижения эффективности работы нейтрализатора с ростом эксплуатационного пробега, то можно получить зависимость, представленную на рис. 3. Интерполирование кривых снижения эффективности работы нейтрализатора показывает, что выход нейтрализатора на нулевую эффективность по NO<sub>x</sub> происходит при 200 тыс. км, а по CO – при 230 тыс. км.

Теоретически нейтрализатор должен служить бесконечно, так как при химической реакции активный слой драгоценных металлов не расходуются. Но на практике срок службы катализатора ограничен из-за отравления химическими элементами. Самой распространенной причиной старения нейтрализатора является загрязнение нейтрализатора продуктами горения поступающего в цилиндры ДВС масла, а также от утечки охлаждающей жидкости через прокладку головки цилиндра. У изношенного двигателя, несгоревшее масло,

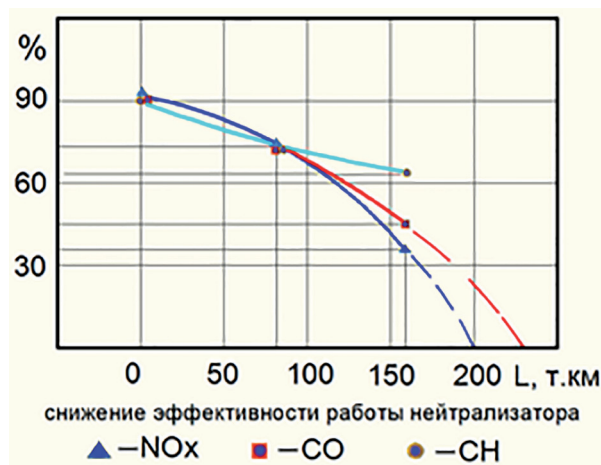


Рис. 3. Снижение эффективности нейтрализатора от эксплуатационного пробега

попадая в катализатор, «запекается» на поверхности активного слоя и не дает катализатору работать. Нейтрализатор также может перегреваться из-за пропусков зажигания, в результате чего в выхлопную систему поступает несгоревшее топливо, где оно воспламеняется. На рис. 4 приведен внешний вид нейтрализатора с оплавленными ячейками.

Диагностику нейтрализатора с целью оценки ухудшения его технического состояния можно производить и по росту противодавления, создаваемого блоком нейтрализатора. Экспериментально доказана обратно-пропорциональная связь между эффективностью работы нейтрализатора и эксплуатационным пробегом [7]. В эксплуатации если бортовая система контроля считает нейтрализатор неисправным, то на панели приборов регистрируется код ошибки и включается лампа, диагностирующая неисправность. В США принята система защиты от стороннего воздействия, при которой нельзя без последствий стереть код ошибки, чтобы пройти



Рис. 4. Внешний вид катализатора с оплавленными ячейками

Таблица 4

**Нормы в отношении содержания серы  
в бензине по экологическим классам  
в соответствии с ТР ТС 013/2011**

Экологический класс	3	4	5
Массовая доля серы, не более мг/кг	150	50	10

проверку на токсичность выхлопа в эксплуатации. Защитная система работает следующим образом. Если это сделать, даже при выключенном индикаторе автомобиль при плановой последующей проверке не будет допущен к контрольному тестированию [5].

Требования по содержанию серы в топливе, приведенные в табл. 4, должны соответствовать Техническому регламенту ТС 013/2011 и являются одними из главных.

Серя не оказывают непосредственного влияния на нормируемые показатели токсических выбросов, но влияет на ресурс нейтрализаторов отработавших газов и, соответственно, на его эффективность использования.

Нормативную базу в области экологического контроля автотранспортных средств в эксплуатации составляют ГОСТ Р 52033-2003 и другие нормативные документы [8–11].

### **Выводы**

Проведенные испытания показали, что для эффективной каталитической нейтрализации ВВ очень важна настройка работы реактора в оптимальном диапазоне нейтрализации и стабильность работы системы, отвечающей за поддержание состава смеси в заданном диапазоне.

Экспериментально установлено, что в катализаторе с увеличением на входе в нейтрализатор концентрации кислорода до 1,7–1,0 % максимально возрастает процесс окисления углеводородов и оксида углерода, но при большем избытке кислорода резко снижается активность нейтрализации  $\text{NO}_x$ .

Для поддержания эффективности работы нейтрализаторов следует выполнять требования нормативных документов, предписывающих правила эксплуатации автомобилей.

### **Литература**

1. Гусаров А.П. Перспективы развития технических требований к автотранспортным средствам по экологическим показателям и топливной экономичности в Российской Федерации // Журнал Авто-

бильных Инженеров. 2014. № 3(86). С. 20–23.

2. Рузский А.В., Кунин Ю.И., Парфенов Е.В. Обеспечение экологической безопасности автотранспортных средств в период эксплуатации: вопросы нормирования и контроля // Журнал Автомобильных Инженеров. 2012. № 3(74). С. 19–25.
3. Кутенев В.Ф., Лежнев Л.Ю., Лукшо О.В., Олисевиич О.В., Теренченко А.С., Хрипач Н.А. Системы и агрегаты автомобильных энергоустановок для автомобилей и автобусов. М.: Экология. Машиностроение. 2012. 246 с.
4. Сексенбаева Р.Б., Данияров Н.А., Жалгасбеков А.З., Минбаев Ж.С. Каталитические нейтрализаторы для дизельных двигателей. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы II международной научной конференции. Санкт-Петербург, апрель 2014 г. С. 94–97.
5. <http://www.epa.gov>. Environmental Protection Agency.
6. Правила ООН № 83-06. «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выбросов загрязняющих веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей». 30 с.
7. Медведев Ю.С. Повышение эффективности работы каталитических нейтрализаторов автотракторных дизелей // Достижения науки и техники АПК. 2008. № 2. С. 45–47.
8. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011), утвержден 09.12.2011 № 877.
9. Федеральный закон США CFR Title 40 «Защита окружающей среды». Ч. 86. «Контроль выбросов новых и находящихся в эксплуатации транспортных средств».
10. 2009/40/ЕС Директива Европейского парламента и Совета от 6 мая 2009 г. по испытаниям на пригодность к эксплуатации автомобильного транспорта и прицепов.
11. 2010/48/ЕС Директива от 5 июля 2010 г., Директива 2009/40/ЕС Европейского парламента и Совета по испытаниям на пригодность к эксплуатации автомобильного транспорта и прицепов.

### **References**

1. Gusarov A.P. Prospects for development of technical requirements for motor vehicles on environmental indicators and fuel efficiency in the Russian Federation. *Zhurnal Avtomobil'nykh Inzhenerov*. 2014. No 3(86), pp. 20–23 (in Russ.).
2. Ruzskiy A.V., Kunin Yu.I., Parfenov E.V. Ensuring environmental safety of vehicles during operation: issues of rationing and control. *Zhurnal Avtomobil'nykh Inzhenerov*. 2012. No 3(74), pp. 19–25.



- bil'nykh Inzhenerov*. 2012. No 3(74), pp. 19–25 (in Russ.).
3. Kutenev V.F., Lezhnev L.Yu., Luksho O.V., Olisevich O.V., Terenchenko A.S., Khripach N.A. *Sistemy i agregaty avtomobil'nykh energoustanovok dlya avtomobiley i avtobusov* [Systems and assemblies of automotive power plants for automobiles and buses]. Moscow: Ekologiya. Mashinostroenie Publ. 2012. 246 p.
  4. Seksenbaeva R.B., Daniyarov N.A., Zhalgasbekov A.Z., Minbaev Zh.S. Catalytic converters for diesel engines. *Tekhnicheskie nauki: problemy i perspektivy: materialy II mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. Sankt-Peterburg, aprel' 2014 g. [Technical sciences: problems and prospects: materials of the II International Scientific Conference. St. Petersburg, April 2014], pp. 94–97 (in Russ.).
  5. <http://www.epa>. Environmental Protection Agency.
  6. *Pravila OON № 83-06*. «Edinoobraznye predpisaniya, kasayushchiesya ofitsial'nogo utverzhdeniya transportnykh sredstv v otnoshenii vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v zavisimosti ot topliva, neobkhodimogo dlya dvigateley» [Uniform provisions concerning the approval of vehicles for emissions of pollutants depending on the fuel required for engines]. 30 p.
  7. Medvedev Yu.S. Increasing the efficiency of catalytic converters of automotive diesel engines. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2008. No 2, pp. 45–47 (in Russ.).
  8. *Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti kolesnykh transportnykh sredstv»* [Safety of wheeled vehicles] (TR TS 018/2011), utverzhden 09.12.2011 No 877.
  9. *Federal'nyy zakon SShA CFR Title 40 «Zashchita okruzhayushchey sredy»*. Ch. 86. «Kontrol' vybrosov novykh i nakhodyashchikhsya v ekspluatatsii transportnykh sredstv» [«Environment protection». P.86. “Control of emissions of new and in-use vehicles”].
  10. 2009/40/EC Direktiva Evropeyskogo parlamenta i Soveta ot 6 maya 2009 g. po ispytaniyam na prigodnost' k ekspluatatsii avtomobil'nogo transporta i pritsepov [Directive of the European Parliament and of the Council of 6 May 2009 on tests for the suitability for the operation of road transport and trailers].
  11. 2010/48/EC Direktiva ot 5 iyulya 2010 g., Direktiva 2009/40/EC Evropeyskogo parlamenta i Soveta po ispytaniyam na prigodnost' k ekspluatatsii avtomobil'nogo transporta i pritsepov [Directive of 5 July 2010, Directive 2009/40 / EU of the European Parliament and of the Council for the testing of the suitability for the operation of road transport and trailers].

## INCREASING THE EFFICIENCY OF THE CATALYTIC CONVERTER

V.A. Solomin<sup>1</sup>, Ph.D. A.V. Shabanov<sup>1</sup>, A.A. Shabanov<sup>2</sup>, V.M. Kiliushnik<sup>2</sup>, A.V. Mladenskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Central research and development automobile and engine institute NAMI, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, saaha-1955@mail.ru

*The article deals with the efficiency of the catalytic converter of automobiles in operation with the aim of solving the problem of reducing the pollution of the atmospheric air by the exhaust gases of automobiles. The problem of reducing emissions of harmful substances of vehicles is considered to be one of the main. The article presents calculations of the efficiency of the neutralizer at various operating conditions of the internal combustion engine, and factors influencing the process of oxidation-reduction reactions are determined. It is shown that a small amount of oxygen (O<sub>2</sub>) to the neutralizer limits the oxidation processes and does not give a good reduction efficiency for CO and CH. At an O<sub>2</sub> concentration of 1,7 to 0,75 % up to the neutralizer, the efficiency of the oxidation reactions in the neutralizer is maximal. The main requirements for the process of catalyzing harmful emissions and the disadvantages of modern neutralizers are considered. The main contribution to emissions of CO and CH is made by the modes of starting and warming up of engine. This is especially felt in the cycle of "cold tests" of the automobile under the UN Rules No. 83–06. Emissions of hydrocarbons increase proportionally with a decrease in engine temperature. In this regard, new types of neutralizers are provided to ensure the achievement of catalytic reactor activity at a lower temperature than those currently used on automobiles, as well as on-board vehicle diagnostic systems that support the environmental characteristics of vehicles in operation. The reasons for the "aging" of the neutralizer during its operation, the methods for diagnosing the neutralizer for the purpose of assessing its technical condition and on-board monitoring systems are analyzed. The urgency of the task of improving the design of the automobile in terms of limiting toxicity and the system of technical control in operation was noted. Improvement of the environmental control of vehicles is primarily related to the operability of on-board diagnostic systems of the car in operation and the catalytic neutralization system. The normative base of the Russian Federation and the EU in the field of environmental control of motor vehicles in operation is given.*

**Keywords:** emissions of harmful substances of automobiles, efficiency of the neutralizer, onboard diagnostic systems, methods of technical control in operation.