

Охрана окружающей среды

УДК 621.43.068.7

Васильев И.П.

*Восточно-украинский национальный университет им. В.Даля, Луганск
кв. Молодежный, 20а, 91034 Луганск, Украина, e-mail: vasilevkr@gmail.com*

Нейтрализация вредных выбросов газовых двигателей

Приведены результаты сравнительного анализа способов каталитического восстановления оксидов азота (SCR) отработавших газов двигателей. Проанализированы преимущества и недостатки применяемых восстановителей в виде веществ, содержащих аммиак: газообразный аммиак и водный раствор мочевины. Отмечено появление новых вредных и парниковых веществ, образующихся на катализаторах в системах нейтрализации SCR, например, закись азота. Целью исследований являлось выявление перспективных восстановителей для SCR. Представлены экспериментальные результаты содержания вредных и парниковых газов в отработавших газах разных двигателей при работе на метане. Практической рекомендацией для современных систем нейтрализации оксидов азота является использование метана или водорода в качестве восстановителя топлива. Кроме этого, система должна снабжаться дополнительно катализаторами нейтрализации закиси азота. *Библ. 21, рис. 3, табл. 3.*

Ключевые слова: оксиды азота, закись азота, восстановление, аммиак, метан, водород.

На земном шаре наблюдается увеличение концентраций вредных выбросов и парниковых газов. Основным парниковым газом является CO_2 , за ним следуют CH_4 и N_2O . В середине XIX в. концентрация CO_2 составляла 275–285 чнм, в 2008 г. она повысилась на 38 % и достигла 385 чнм [1]. Концентрация CH_4 возросла от 0,7 чнм в 1750 г. до 1,7 чнм в 2000 г., а концентрация N_2O за этот же период времени увеличилась от 0,27 до 0,32 чнм.

N_2O образуется в земле в процессе денитрификации, при сгорании биомассы, в морях. В случае с N_2O выделения между естественными и антропогенными источниками соотносятся как 9 : 5,7, но наблюдается тенденция по усилению выделения N_2O антропогенного происхождения. В связи с этим большое значение приобретает контроль над выбросами N_2O [2].

Образование N_2O выявлено в камерах сгорания двигателей [3]. Этим объясняется повышение концентраций N_2O у дорог, поскольку существующие автомобили не снабжены катализаторами восстановления N_2O [4].

Развитие двигателестроения связано с разработкой усовершенствованных рабочих процессов и использованием новых видов топлив. Возникает проблема учета вредных выбросов и появления новых вредных и парниковых газов.

В этом свете возникает практическая задача оценки ущерба остаточных газов-восстановителей и N_2O отработавших газов двигателей. Актуальным становится научное обоснование подбора катализаторов, объяснения механизмов протекания реакций и выявления направлений по снижению образования побочных реакций и нейтрализации продуктов этих реакций [5].

Цель данных исследований – выявление перспективных восстановителей для SCR, эффективность которой по NO_x может достигать 90 %.

В настоящее время наиболее эффективными способами снижения оксидов азота в отработавших газах двигателей является использование каталитических систем нейтрализации [6]. При этом возможно использование различных восстановителей [7], которые представлены на рис.1.

Восстановители могут быть в газообразной, жидкой и твердой фазах. Предпочтительно применение восстановителя в газовой фазе, что обеспечивает хорошее перемешивание восстановителя с отработавшими газами [8].

Использование восстановителей в жидкой фазе требует дополнительных мероприятий по их разложению и перемешиванию с отработавшими газами.

За рубежом используется в качестве восстановителя 32,5 %-й (мас.) водный раствор мочевины. Это принято из условий безопасности, удобства заправки и хранения на борту автомобиля. Использование баллонов с NH_3 не рекомендовано из-за его токсичности и взрывоопасности. В то же время в этих странах используются на автомобилях баллоны высокого давления со сжатыми газами. В перспективе рассматривается использование H_2 как топлива при хранении в гидридных баках или в сжиженном виде. Причем образование горючих и взрывоопасных концентраций с воздухом находится у CH_4 в диапазоне от 5 до 15 % (об.), у H_2 – от 4 до 75 % (об.), и это шире, чем у NH_3 – 15–28 % (об.).

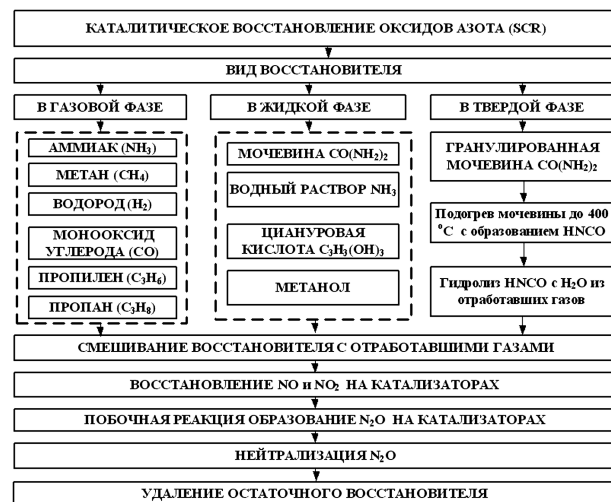


Рис.1. Каталитические системы восстановления NO_x в отработавших газах двигателей.

Процесс восстановления NO_x происходит следующим образом. Находящийся в отработавших газах NO окисляется на катализаторе до NO_2 (обычно до соотношения $\text{NO}_2 : \text{NO} = 1$), CO до CO_2 , CH до CO_2 и H_2O , производится подача 32,5 %-го (мас.) водного раствора мочевины в нейтрализатор и ее разложение на катализаторе на CO_2 и NH_3 . Последний восстанавливает NO и NO_2 до N_2 и H_2O , а остаток NH_3 окисляют на катализаторе до N_2 и H_2O . Параллельно возможно протекание побочных (нежелательных) реакций образования N_2O и NO , что требует дальнейшей их нейтрализации [7, 9]. Однако в зависимости от выбора катализатора может не наблюдаться образование N_2O [6].

В результате консультации с проф. В.А. Матышак (Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва) выяснилось, что в реакторе могут быть разные соотношения NO , NO_2 , O_2 , которые зависят от катализатора, температуры, времени контакта и т. д. Эффективность нейтрализации NO_x может определяться лимитирующей реакцией. В некоторых случаях наиболее эффективно восстановление будет осуществляться в присутствии NO и NO_2 при соотношении $\text{NO}_2 : \text{NO} = 1$.

К недостаткам системы SCR с водным раствором мочевины следует отнести следующее: высокая цена системы (около 3300 евро), при расходе мочевины 7 % от расхода топлива, при цене водного раствора мочевины 45 % от цены дизельного топлива [10].

Необходимо наличие разветвленной системы заправок мочевиной, в идеале на территории автозаправочных станций. Также нужен на автомобиле дополнительный бак для водного раствора мочевины. Раствор присадки имеет 67,5 % (мас.) воды, что является балластом. При испарении эта вода снижает температуру в нейтрализаторе, по исследованиям автора на 13–35 °C, что может приводить к уменьшению эффективности реакции восстановления.

Используются специальные устройства для перемешивания продуктов разложения мочевины с отработавшими газами. При этом добиться 100 %-го разложения мочевины проблематично, что приводит к ее частичному осаждению на стенках нейтрализатора и на катализаторах.

При пуске необходимо достаточно много времени для разогрева нейтрализатора и обеспечения эффективного восстановления NO_x .

Температура замерзания 32,5 %-го (мас.) водного раствора мочевины составляет –11 °C [11]. Это требует применения специальных ме-

роприятий по нормальному функционированию системы при низких температурах. После остановки двигателя мочевины из трубопровода, обеспечивающего подачу ее в нейтрализатор, автоматически удаляется. Предусмотрено использование емкости с мочевиной специальной конструкции, которая содержит полости из специального материала для расширения раствора при замерзании на 10 %.

Данные мероприятия позволяют обеспечить нормальную работу системы при -40 °С. Но в этих условиях требуется подогрев мочевины в баке за счет использования теплоты отработавших газов или охлаждающей жидкости. В случае остановки двигателя используется только электрический подогрев, что требует повышенных энергозатрат, а в случае выхода из строя аккумуляторной батареи – к замерзанию мочевины и возможному разрушению бака с мочевиной.

Чтобы исключить балластную воду из состава жидкого восстановителя, рассматривается использование восстановителя в твердой фазе (гранулированная мочевины), а необходимую для реакции гидролиза воду используют из отработавших газов [12].

Для оценки уровня выбросов метана газовых двигателей были проведены экспериментальные исследования согласно стандарту ДСТУ 4277:2004 [13].

Представляло интерес сравнить выбросы двигателя при работе на нефтяном и на газовом топливах. Но это несколько проблематично, поскольку трудно обеспечить идентичную номинальную мощность таких двигателей. При переводе двигателя с нефтяного топлива на газовую часть воздуха заменяют газом для обеспечения необходимого подвода теплоты. В результате этого мощность двигателя при работе на газе падает. Однако это нивелируется более высокой экономичностью газового топлива на единицу получаемой энергии (грн/кДж). Другим положительным фактором этого двигателя является снижение выбросов оксидов азота, но одновременно увеличиваются концентрации несгоревшего CH_4 и в некоторых случаях выбросы SH , CO .

Стандартом ДСТУ 4277:2004 не предусмотрен замер расхода отработавших газов. Поэтому для анализа достаточно определить не абсолютные значения выбросов, а относительное воздействие каждого парникового газа отработавших газов с учетом показателей агрессивности парникового воздействия K_i ($\text{CO}_2 = 1$, $\text{CO} = 4$, $\text{CH}_4 = 23$, $\text{N}_2\text{O} = 296$). Поэтому предлагается упрощенная методика определения парни-

кового воздействия CO_2 , CO и CH_4 в относительных единицах парникового воздействия Global Warming Potential (GWP) [14].

Расчет суммарного показателя Π_Σ , учитывающего ущерб от парниковых газов, в частности, от CO_2 – Π_{CO_2} , CO – Π_{CO} , CH_4 – Π_{CH_4} , производится по формуле:

$$\Pi_\Sigma = \Pi_{\text{CO}_2} + \Pi_{\text{CO}} + \Pi_{\text{CH}_4}$$

Расчет каждого члена уравнения производится по формуле:

$$\Pi_i = C_i \cdot K_i,$$

где C_i – объемная концентрация i-го компонента в отработавшем газе, % (об.); K_i – показатель агрессивности парникового воздействия.

Привлекательным является использование в качестве восстановителей топлива, некоторые, из которых могут являться восстановителями (метан, пропан, пропилен и т. д.) [6].

Представляло интерес выявить реальные выбросы CH_4 в отработавших газах газовых двигателей, которые имеют на Украине достаточно большой износ.

Отработавшие газы автомобилей для анализа на CO , CO_2 и CH_4 отборались газовыми пипетками. Анализы проводились методом газовой хроматографии. Концентрация CO определялась на хроматографе марки «Цвет-110» путем метанирования CO и последующего определения на пламенно-ионизационном детекторе. На хроматографе марки «Цвет-530» определялись концентрация CO_2 при использовании в качестве детектора катарометра и

Таблица 1. Соотношения парниковых газов в выхлопе газовых автомобилей

Газы	GWP	В выхлопе, % (об.)	Сумма GWP	Доля парникового газа, %
ЗИЛ 130				
CO_2	1	13,8	13,8	24
CH_4	23	1,87	43,01	75,5
CO	4	0,0835	0,334	0,5
Π_Σ	–	–	57,114	100
ГАЗ 3307 (1)				
CO_2	1	13,8	13,8	14
CH_4	23	3,57	82,11	83,7
CO	4	0,545	2,18	2,3
Π_Σ	–	–	98,09	100
ГАЗ-3307 (2)				
CO_2	1	9,9	9,9	12,95
CH_4	23	2,86	65,78	85,93
CO	4	0,216	0,864	1,12
Π_Σ	–	–	75,544	100

концентрация CH_4 на пламенно-ионизационным детекторе.

Вначале были проведены замеры выбросов на газодизеле-заправщике МАЗ-64229 СПГ, который может работать и на CH_4 , и на дизельном топливе. При запуске дизеля концентрация CH_4 в отработавших газах достигала 50 % (об.), что можно объяснить неудовлетворительным их сгоранием в этот период. Затем отборы производились на двигателях марок ЗИЛ 130 и ГАЗ 3307, составляющие парниковых газов которых приведены в табл.1.

Далее исследовался выхлоп двигателя автомобиля Део Ланос (МеМЗ-317) при работе на CH_4 согласно стандарту [13] на холостом ходу при разных оборотах коленчатого вала (табл.2).

Таблица 2. Соотношение парниковых газов в выхлопе автомобиля Део Ланос на холостом ходу

Газы	GWP	В выхлопе, % (об.)	Сумма GWP	Доля парникового газа, %
CO_2	1	12,4/14,8	12,4/14,8	9,90/9,63
CH_4	23	4,85/5,99	111,6/137,77	90,02/90,30
CO	4	0,0263/0,0278	0,1/0,11	0,08/0,07
P_{Σ}	–	–	124,1/152,68	100/100

Примечание. В числителе – с минимальными оборотами коленчатого вала, в знаменателе – с максимальными.

Интерес представляет изменение выбросов CH_4 на скоростном режиме. Для этого выполнялись отборы газов из выхлопной трубы на второй передаче автомобиля при скоростях 10, 20, 30 и 40 км/ч (табл.3). Определенные значения CO находятся в пределах, оговоренных стандартом [13], – не выше 1 % (об.).

На холостом ходу и по скоростной характеристике двигателей при работе на природном газе приходится на CH_4 от 76 до 95 % от общего парникового воздействия, что можно объяснить высокой степенью износа и неоптимальной регулировкой двигателей. Это требует обеспечения снижения выбросов несгоревшего CH_4 в камере сгорания и в системе нейтрализации.

Поэтому весьма привлекательным является использование газового топлива в качестве восстановителя. Таким примером может быть использование CH_4 [15].

Таблица 3. Соотношение парниковых газов в выхлопе автомобиля Део Ланос по скоростным характеристикам

Газы	GWP	В выхлопе, % (об.)	Сумма GWP	Доля парникового газа, %
Скорость 10 км/ч				
CO_2	1	7,4	7,4	9,4
CH_4	23	3,1	71,3	90,54
CO	4	0,0115	0,05	0,06
P_{Σ}	–	–	78,75	100
Скорость 20 км/ч				
CO_2	1	9,6	9,6	4,84
CH_4	23	8,2	188,6	95,13
CO	4	0,0118	0,05	0,03
P_{Σ}	–	–	198,25	100
Скорость 30 км/ч				
CO_2	1	10,8	10,8	5,415
CH_4	23	8,2	188,6	94,55
CO	4	0,0176	0,07	0,035
P_{Σ}	–	–	199,47	100
Скорость 40 км/ч				
CO_2	1	10,7	10,7	6,23
CH_4	23	7	161	93,7
CO	4	0,031	0,12	0,07
P_{Σ}	–	–	171,82	100

Известна система восстановления NO_x при использовании в качестве восстановителя CH_4 ($\text{CH}_4\text{-SCR}$) [16]. Но и в этих реакциях также наблюдается образование на катализаторах N_2O в результате протекания побочных реакций [17]. Это требует восстановления N_2O и окисления остаточного CH_4 , для чего предлагается реализация в нейтрализаторе химической реакции $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{O-SCR}$ (рис.2) [18].

Особенностью данного процесса является использование CH_4 из отработавших газов и при необходимости из топливного баллона с

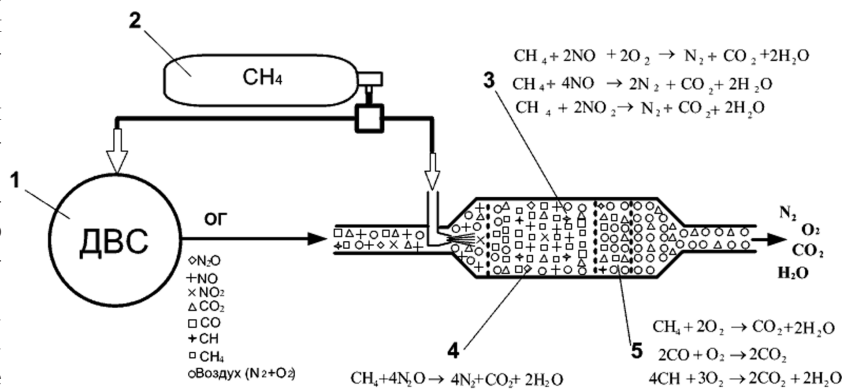


Рис.2. Химические реакции $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{O-SCR}$: 1 – двигатель; 2 – баллон с CH_4 ; 3 – катализатор восстановления NO и NO_2 ; 4 – катализатор восстановления N_2O ; 5 – катализаторы окисления CH , CO и CH_4 .

CH₄, которым на катализаторе CH₄-SCR восстанавливают NO и NO₂ до N₂, CO₂ и H₂O [19]. Образовавшийся при побочных реакциях N₂O восстанавливают на катализаторе CH₄ до N₂, CO и H₂O и окисляют на последней ступени катализатора остатки CH₄, CO и CH до CO₂ и H₂O.

Известны селективные каталитические системы нейтрализации NO_x при использовании в качестве восстановителя H₂ (H₂-SCR) с эффективностью 85 % [20]. Но в данном случае выявлено в результате побочных реакций образование на катализаторе N₂O, и необходимо удалить образовавшийся N₂O и остаточный H₂ на специальных катализаторах. В этом случае наиболее перспективным с точки зрения снижения парникового ущерба является использование в качестве восстановителя водорода по реакции H₂-N₂O-SCR (рис.3).

В данной системе в качестве газа-восстановителя используют H₂ из отработавших газов и из топливного бака, а образовавшийся при побочных реакциях N₂O, восстанавливают водородом на катализаторе восстановления N₂O до N₂ и H₂O. Теоретически продуктами сгорания H₂ в камере сгорания двигателя являются только H₂O и NO_x (реакция кислорода с азотом воздуха). Однако в существующих двигателях, работающих на H₂, в камеру сгорания из картера попадает смазочное масло, которое при сгорании образует CO₂, CO, CH и твердые частицы. Необходимо предусмотреть мероприятия, которые исключат этот процесс, что позволит избавиться от вредных веществ, имеющих в своем составе углерод [21].

В перспективе, если подавать в камеру сгорания O₂ не с воздухом, который содержит N₂, а отдельно, то образование NO_x будет полностью исключено и получен идеальный экологически чистый двигатель.

Выводы

Совершенствование двигателей и систем нейтрализации при использовании альтернативных топлив, в частности, газовых, может приводить к изменению структуры выбросов и появлению новых вредных веществ и парниковых газов. Это требует их обнаружения и нейтрализации.

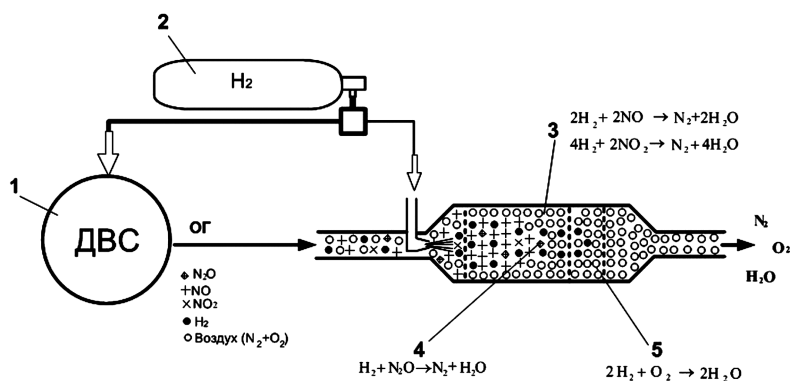


Рис.3. Химические реакции H₂-N₂O-SCR: 1 — двигатель; 2 — бак с H₂; 3 — катализатор восстановления NO и NO₂; 4 — катализатор восстановления N₂O; 5 — катализатор окисления H₂.

Эффективным способом снижения выбросов NO_x является SCR, но он одновременно может являться источником образования парникового газа N₂O на катализаторе, что требует использования в последней ступени нейтрализации катализаторов восстановления N₂O.

Перспективными восстановителями в SCR являются топлива, которыми могут быть метан и водород, что не требует отдельных заправок и дополнительного бака на автомобиле. Актуальным является разработка катализаторов восстановления с минимальным образованием или без образования N₂O.

Современные нейтрализаторы должны уменьшать не только вредные выбросы, но и парниковые газы от отработавших газов путем применения системы диагностирования и нейтрализации остаточных газов-восстановителей и N₂O.

Список литературы

1. Wirkungen von Luftschadstoffen auf Pflanzen unter besonderer Berücksichtigung von Waldbäumen: BFW-Dokumentation // Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums fuer Wald, Naturgefahren und Landschaft; St. Smidt. — Wien, 2010. — № 8. — 267 S.
2. Близнюк О.Н., Савенков А.С., Ратушная Л.Н. Эмиссия N₂O в атмосферу и уменьшение выбросов оксида азота (I) в азотокислых установках // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2008. — № 5. — С. 65–68.
3. Звонov В. А., Гиринович М.П. Исследование механизмов образования оксидов азота в условиях камеры сгорания // Двигатели внутреннего сгорания. — Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. — № 1. — С. 29–33.
4. Hausberger Stefan. N₂O aus mobilen Quellen [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.accc.gv.at/pdf/no-hausberger.pdf – 10.12.2011.

5. Васильев И.П. Теоретические основы разработки комплексной системы нейтрализации отработавших газов дизелей при работе на альтернативных топливах // Двигатели внутреннего сгорания. — Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. — № 1. — С. 156–160.
6. Использование эффекта синергизма для увеличения активности катализаторов в deNO_x -процессе / Т.Н. Бурдейная, В.Ф. Третьяков, В.А. Матышак, Ю.П. Загоричевная, А.Г. Закирова, М.Н. Бахтиярова, В.Н. Корчак // Химия в интересах стабильного развития. — 2005. — № 13. — С. 743–750.
7. Крылов О.В., Матышак А.В. Промежуточные соединения и механизмы гетерогенных каталитических реакций. Реакции с участием водорода, монооксида углерода и азота // Успехи химии. — 1995. — № 64. — С. 66–92.
8. Звонов В.А., Звонова З.Т., Фесенко П.П., Васильев И.П. Исследование каталитической нейтрализации отработавших газов дизеля // Двигатели внутреннего сгорания. — Харьков, 1978. — № 28. — С. 121–127.
9. Wittzack Stefan. Spektrometrische Bestimmung der NO_2 -Konzentration im Abgas von Lastkraftwagen mit Dieselmotor unter Verwendung eines elektrostatisch durchstimmbaren Fabry-Perot-Filters zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauches und der Schadstoffemissionen: Doktors der Ingenieurwissenschaften. — Kassel, 2010. — 192 S.
10. SCR-basiertes Konzept fuer Euro VI bei schweren Nutzfahrzeugen / R. Cloudt, I. R. Baert, F. Willems, M. Vergouwe // Motortechnische Zeitschrift. — 2009. — Vol. 70, № 9. — S. 682–689.
11. SCR/Urea-Filter. Eine neue Filtrationsanwendung in Diesel-Fahrzeugen / J. Reyinger, G-M. Klein, M. Durst // Motortechnische Zeitschrift. — 2007. — Vol. 68, № 7–8. — S. 584–588.
12. Kaefler Sebastian. Trockenharnstoff-SCR-System und Betriebsstrategie fuer Fahrzeuge mit Dieselmotor : Doktor-Ingenieur. — Kaiserslautern : Technischen Universitaet Kaiserslautern, 2007. — 153 S.
13. ДСТУ 4277:2004. Система стандартів у галузі охорони навколишнього природного середовища та раціонального використання ресурсів. Атмосфера. Норми і методи вимірювання оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі; Введ. 31.01.04. — Київ : Держспоживстандарт України, 2004. — 8 с.
14. Васильев И.П. Методика оценки ущерба, наносимого отработавшими газами ДВС при использовании в качестве топлива метана // Двигатели внутреннего сгорания. — 2009. — № 2. — С. 94–96.
15. Васильев И.П. Перспективы совершенствования селективного каталитического восстановления оксидов азота дизелей при использовании альтернативных топлив // Двигатели внутреннего сгорания. — 2012. — № 2. — С. 83–87.
16. Орлик С.Н. Каталитическое восстановление оксидов азота // Экологические технологии и ресурсосбережение. — 1997. — № 2. — С. 40–45.
17. Pieterse J.A.Z., van den Brink R.W., Top H., Vollink F., Hoving K. Selective catalytic reduction of NO_x in real exhaust gas of gas engines using unburned gas. Catalyst deactivation and advances toward long-term stability // Chemical Engineering Journal, ECN-RX. — 06-053. — 2006. — 23 p.
18. Заявка на корис. модель № u 201314126 Укр., МПК F 01 N 3/10. Спосіб зниження шкідливих викидів з відпрацьованими газами газового двигуна / Я.Г.Філіппов, І.П.Васильев; Східно-український національний університет ім. В.Даля. — № u 201314126; Заявлено 04.12.2013.
19. Zhijiang Li, Maria Flytzani-Stephanopoulos. On the Promotion of Ag-ZSM-5 by Cerium for the SCR of NO by Methane // Journal of Catalysis. — 1999. — № 182. — P. 313–327.
20. Schott F.J.P., Kureti Dr.S. Entwicklung von Katalysatoren zur effizienten NO_x -Minderung bei tiefen Temperaturen im Abgas von Pkw-Dieselmotoren : Abschlussbericht Foerderkennzeichen: BWI 23002 //Universitaet Karlsruhe (TH) Institut fuer Technische Chemie und Polymerchemie. — Karlsruhe, 2007. — 47 S.
21. Wasserstoff-Motor, Motorentchnik, Gemischbildung, Vor ... [Електронний ресурс] / Режим доступа: www.hydrogeit.de/wasserstoff-motor.htm/— 25.01.2012.

Поступила в редакцию 17.01.14

Васильєв І.П.

Східно-український національний університет ім. В. Даля, Луганськ
кв. Молодіжний, 20а, 91034 Луганськ, Україна, e-mail: vasilevkr@gmail.com

Нейтралізація шкідливих викидів газових двигунів

Наведено результати порівняльного аналізу способів каталітичного відновлення оксидів азоту (SCR) відпрацьованих газів двигунів. Проаналізовано переваги й недоліки застосовуваних відновлювачів у вигляді речовин, що містять аміак: газоподібний аміак і водний розчин сечовини. Відзначається появи нових шкідливих і парникових речовин, що утворюються на каталізаторах у системах нейтралізації SCR, наприклад, закис азоту. Метою досліджень було виявлення перспективних відновлювачів для SCR. Представлені експериментальні результати вмісту шкідливих і парникових газів у відпрацьованих газах різних двигунів при роботі на метані. Практичною рекомендацією для сучасних системи нейтралізації оксидів азоту є використання в якості відновлювача палива, наприклад, метан або водню. Крім цього система повинна забезпечуватися додатково каталізаторами нейтралізації закиси азоту. *Бібл. 21, Рис. 3, табл. 3.*

Ключові слова: оксиди азоту, закис азоту, відновлення, аміак, метан, водень.

Vasyliev I.P.

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Luhansk
20a, Molodizhny, 91034, Luhansk, Ukraine, e-mail: vasilevkr@gmail.com

Neutralisation of Harmful Emissions of Gas Engines

Results of the comparative analysis of engines burnt gas nitric oxide (SCR) restoring have been presented. Advantages and disadvantages of applied reducing agents in the form ammonia containing substances such as gaseous ammonia and aqueous solution of urea have been analysed. Appearance of new harmful and greenhouse substances formed on catalysts in SCR neutralization system, nitrogen monoxide for one, has become evident. Establishing of perspective reducing agents for SCR has been the purpose of given investigation. Experimental results of harmful and greenhouse gases content in burnt gases of different methane engines have been presented. Practical recommendation for modern systems of nitric oxide neutralization is the use of methane or hydrogen as fuel reducing agents. Besides, the system should be additionally supplied with nitrogen monoxide neutralization catalyst. *Bibl. 21, Fig. 3, Table 3.*

Key words: nitrogen oxides, nitrogen monoxide, reduction, SCR, ammonia, methane, hydrogen.

References

1. Wirkungen von Luftschadstoffen auf Pflanzen unter besonderer Berücksichtigung von Waldbäumen : BFW-Dokumentation. *Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums fuer Wald, Naturgefahren und Landschaft*; St. Smidt, Wien, 2010, 8, 267 P. (De).
2. Blizniuk O.N., Savenkov A.S., Ratushnaja L.N. Nitrogen oxide (I) exhausts in nitric acid installations reduction and N₂O emission to Atmosphere. *Jenergotehnologii i resursoberezhnie [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2008, (5), pp. 65–68. (Rus).
3. Zvonov V. A., Girinovich M.P. Research of formation mechanisms of oxide nitrogen in conditions of the combustion chamber of a diesel engine. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Internal combustion engines]*, 2008, (1), pp. 29–33. (Rus).
4. Hausberger Stefan. N₂O aus mobilen Quellen [Electronic resource] / Access Mode: — [http: www.accc.gv.at/pdf/no-hausberger.pdf](http://www.accc.gv.at/pdf/no-hausberger.pdf) . 10.12.2011 (De).
5. Vasilev I. P. Theoretical bases of working out of complex system of neutralisation of the exhaust gases of diesel engines at work on alternative fuel. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Internal combustion engines]*, 2008, (1), pp. 156–160. (Rus).

6. Burdeynaya T.N., Tretjakov V.F., Matyshak V.A., Zakorchevnaya Yu.P., Zakirov A.G., Bakhtiyarova M.N., Korchak V.N. Use of effect of a synergism for increase in activity of catalysts in deNO_x-process. *Himija v interesah stabil'nogo razvitija [Chemistry in interests of stable development]*, 2005, (13), pp. 743–750. (Rus).
7. Krylov O.V., Matyshak V.A. Intermediates and mechanisms of heterogeneous catalytic reactions. Reactions involving hydrogen and the monoxides of carbon and nitrogen. *Uspehi himii*, 1995, 64 (1), pp. 66–92. (Rus).
8. Zvonov V.A., Zvonova Z.T., Fesenko P.P., Vasilev I.P. Research of catalytic neutralisation of the exhaust gases of a diesel engine. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Internal combustion engines]*, 1978, (28), pp. 121–127. (Rus).
9. Wittzack Stefan. Spektrometrische Bestimmung der NO₂-Konzentration im Abgas von Lastkraftwagen mit Dieselmotor unter Verwendung eines elektrostatisch durchstimmbaren Fabry-Perot-Filters zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauches und der Schadstoffemissionen: Doktors der Ingenieurwissenschaften. — Kassel, 2010, 192 p. (De).
10. Cloudt R., Baert I.R., Willems F., Vergouwe M. SCR-basiertes Konzept fuer Euro VI bei schweren Nutzfahrzeugen, *Motortechnische Zeitschrift*, 2009, 70 (9), pp. 682–689. (De).
11. Reyinger J., Klein G-M., Durst M. SCR/Urea-Filter. Eine neue Filtrationsanwendung in Diesel-Fahrzeugen, *Motortechnische Zeitschrift*, 2007, 68 (7–8), pp. 584–588. (De).
12. Kaefer Sebastian. Trockenharnstoff-SCR-System und Betriebsstrategie fuer Fahrzeuge mit Dieselmotor: Doktor-Ingenieur, Kaiserslautern : Technischen Universitaet Kaiserslautern, 2007, 153 p. (De).
13. DSTU 4277:2004. Sistema standartiv u galuzi ohoroni navkolishn'ogo prirodного seredovishha ta racional'nogo vikoristannja resursiv. Atmosfera. Normi i metodi vimirjuvannja oksidu vuglecju ta vugle-vodniv u vidprac'ovanih gazah avtomobiliv z dvigunami, shho pracjujut' na benzini abo gazovomu palivi; Vved. 31.01.04. — Kiev : Derzhspozhivstandart Ukraini, 2004, 8 p. (Ukr).
14. Vasilev I. P. Methods of assessment of damage caused by ICE waste gas while using methane as a fuel. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Internal combustion engines]*, 2009, (2), pp. 94–96 (Rus).
15. Vasyliiev I.P. Prospects of improvement of selective catalytic reduction of diesel engines when using alternative fuel. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Internal combustion engines]*, 2012, (2), pp. 83–87. (Rus).
16. Orlik S.N. Catalytic reduction of nitrogen oxides, *Jekotehnologii i resursosberezenie [Ecotechnologies and Resource Saving]*, 1997, (2), pp. 40–45. (Rus).
17. Pieterse J.A.Z., van den Brink R.W., Top H., Vollink F., K. Hoving. Selective catalytic reduction of NO_x in real exhaust gas of gas engines using unburned gas. Catalyst deactivation and advances toward long-term stability. *Chemical Engineering Journal*, ECN-RX, 06-053, 2006, 23 p.
18. Zajavka na k/m № u 201314126 Ukraïna, F 01 N 3/10. Sposib znizhennja shkidlivih vikidiv z vidprac'ovanimi gazami gazovogo dviguna / Filippov Ja. G., Vasil'ev I. P. Shidnoukraïns'kij nacional'nij universitet imeni Volodimira Dalja (UA). — № u 201314126; Zajavleno 04.12.2013 (Ukr).
19. Zhijiang Li, Maria Flytzani-Stephanopoulos. On the Promotion of Ag-ZSM-5 by Cerium for the SCR of NO by Methane. *Journal of Catalysis*, 1999, (182), pp. 313–327.
20. Schott F.J.P., Kureti Dr.S. Entwicklung von Katalysatoren zur effizienten NO_x-Minderung bei tiefen Temperaturen im Abgas von Pkw-Dieselmotoren : Abschlussbericht Foerderkennzeichen: BWI 23002, Universitaet Karlsruhe (TH). Karlsruhe : Institut fuer Technische Chemie und Polymerchemie, 2007, 47 p. (De).
21. Wasserstoff-Motor, Motorentchnik, Gemischbildung, Vor ... [Electronic resource]. — Access Mode: www.hydrogeit.de/wasserstoff-motor.htm/. 25.01.2012 (De).

Received January 17, 2014