

УДК 544.478.32

*Л. Н. ШАЧЕНКОВА, Л. Л. ПОТАПОВА, М. Ф. ГОРБАЦЕВИЧ,  
В. З. РАДКЕВИЧ, Ю. Г. ЕГИАЗАРОВ***КАТАЛИЗАТОР ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА АЗОТА ОКСИДОМ УГЛЕРОДА***Институт физико-органической химии НАН Беларуси**(Поступила в редакцию 14.10.2013 )*

Очистка выхлопных газов автотранспорта от токсичных компонентов – оксидов углерода и азота, полициклических ароматических углеводородов (производных бензопирена), альдегидов и сажи – продолжает оставаться весьма актуальной проблемой. Перечисленные вещества оказывают особенно сильное воздействие на здоровье обслуживающего персонала закрытых производственных участков, где используются транспортные средства с двигателями внутреннего сгорания (станции диагностики и технического обслуживания автомобилей, грузоперевозочные терминалы и склады предприятий). Для улучшения экологической обстановки на таких объектах требуется создание специальных сорбционно-каталитических устройств.

Наиболее перспективным методом очистки выхлопных газов автомобиля от CO и NO является каталитическое восстановление оксида азота оксидом углерода, поскольку в результате такого взаимодействия из двух токсичных компонентов образуются нейтральные соединения. Катализатор этой реакции должен быть достаточно селективным, так как в выхлопных газах автомобиля всегда присутствует кислород (например, в выхлопе дизельного двигателя в зависимости от режима работы может содержаться от 2 до 18 об.% кислорода), который может конкурировать с NO в роли окислителя оксида углерода.

Наиболее эффективные катализаторы этой реакции получают нанесением благородного металла (группа платины) [1, 2] или оксидов переходных металлов [3, 4] на твердые пористые носители.

Цель настоящего исследования – создание нового нанесенного металлооксидного катализатора, не содержащего благородного металла, для восстановления NO оксидом углерода и выяснение характера реакций, протекающих на его поверхности.

**Экспериментальная часть.** В качестве носителя для приготовления катализаторов восстановления NO оксидом углерода был выбран промышленный  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> марки А-15. Выбор носителя был сделан с учетом условий работы катализатора, предназначенного для детоксикации выхлопных газов дизельного двигателя (температура до 200 °С, наличие кислорода). Гранулы носителя предварительно прокаливали на воздухе при 500 °С (3 ч), затем измельчали и отсеивали фракцию 0,5–1,0 мм.

Были приготовлены образцы катализаторов, активная фаза которых содержала два или три оксида металла (меди, железа, хрома, церия, марганца, олова). Образцы готовили либо совместной (единовременной обработкой водным раствором смеси солей), либо отдельной (последовательной) пропиткой носителя водными растворами солей металлов с промежуточными стадиями термообработки. Образцы сушили при 120 °С в течение 2 ч и прокаливали на воздухе при разных температурах (от 180 до 600 °С) в течение 1–4 ч. Некоторые образцы прокаливали в токе водорода (350 °С, 2 ч). Состав катализаторов и условия их приготовления представлены в таблице.

Хемосорбент для улавливания диоксида азота готовили нанесением 20 мас.% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> на активированный уголь EcoSorb CX (кокосовый, размер гранул 2,4–4,8 мм). Оксид углерода получали дегидратацией муравьиной кислоты действием на нее концентрированной серной кислоты,

оксид азота – взаимодействием азотной кислоты и медной стружки [5]. Газовые смеси с заданным содержанием CO и (или) NO готовили в газометре над запирающей жидкостью (насыщенный раствор NaCl). В качестве газа-разбавителя использовали азот (99,9 об.% N<sub>2</sub>).

Эксперименты по определению активности полученных катализаторов проводили на лабораторной установке проточного типа (рис. 1). Установка оснащена каталитическим реактором, адсорбером с хемосорбентом, улавливающим диоксид азота, системой анализа исходной газовой смеси и продуктов реакции. Опыты проводили с варьированием содержания O<sub>2</sub> в исходной газовой смеси, используя в качестве транспортирующего газового потока воздух или смесь воздуха с азотом.

**Состав катализаторов на основе  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, условия их приготовления и активность в окислении CO и восстановлении NO<sub>x</sub> ( $V = 12000 \text{ ч}^{-1}$ ; температура 200 °C; загрузка катализатора 5 г)**

Номер образца	Содержание активного компонента, мас.%	Условия термической активации катализатора	Конверсия, %	
			CO	NO <sub>x</sub>
<i>Состав исходной газовой смеси: CO – 0,11 об.%, NO<sub>x</sub> – 0,04 об.%, воздух – остальное</i>				
1*	4,7 MnO <sub>2</sub> + 4,6 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	400 °C, 2 ч (воздух)	81,3	–
2*	4,6 CuO + 4,6 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	180 °C, 3 ч и 350 °C, 3 ч (воздух)	91,8	–
3**	2,3 CuO + 2,3 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 стадия – 600 °C, 2 ч (воздух); 2 стадия – 440 °C, 2 ч (воздух)	100,0	52,5
4**	4,6 CuO + 4,6 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 стадия – 600 °C, 1 ч (воздух); 2 стадия – 440 °C, 1 ч (воздух)	100,0	55,1
5**	6,9 CuO + 6,9 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 стадия – 600 °C, 2 ч (воздух); 2 стадия – 440 °C, 2 ч (воздух)	100,0	24,8
6*	5,7 CuO + 1,5 CeO <sub>2</sub>	450 °C, 4 ч (воздух)	97,7	25,2
7*	5,3 CuO + 5,3 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 11,6 SnO <sub>2</sub>	400 °C, 2 ч (воздух)	24,0	37,8
8*	7,1 CuO + 7,1 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 15,5 SnO <sub>2</sub>	400 °C, 2 ч (воздух)	62,8	29,5
9*	7,1 CuO + 7,1 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 15,5 SnO <sub>2</sub>	300 °C, 2 ч (воздух)	21,2	20,4
<i>Состав исходной газовой смеси: CO – 0,11 об.%, NO – 0,015 об.%, O<sub>2</sub> – 10 об.%, азот – остальное</i>				
10*	1,4 CuO + 2,8 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	350 °C, 2 ч (воздух)	44,2	18,8
11*	1,4 CuO + 2,8 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	450 °C, 2 ч (воздух)	46,9	66,0
12*	1,4 CuO + 2,7 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 1,8 CeO <sub>2</sub>	350 °C, 2 ч (воздух)	87,2	44,1
13*	1,4 CuO + 2,7 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 1,8 CeO <sub>2</sub>	450 °C, 2 ч (воздух)	100,0	44,0
14**	3,9 CuCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 5,1 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 2,4 CuO + 2,4 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 стадия – 440 °C, 2 ч (воздух); 2 стадия – 350 °C, 2 ч (воздух)	98,4	18,5
15**	3,9 CuCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 5,1 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 2,4 CuO + 2,4 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 стадия – 440 °C, 2 ч (воздух); 2 стадия – 350 °C, 2 ч (водород)	100,0	33,3
16**	3,8 CuCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 4,9 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 4,7 CuO + 2,3 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 стадия – 440 °C, 2 ч (воздух); 2 стадия – 350 °C, 2 ч (воздух)	100,0	60,0
17**	3,8 CuCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 4,9 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 4,7 CuO + 2,3 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 стадия – 440 °C, 2 ч (воздух); 2 стадия – 350 °C, 2 ч (водород)	100,0	82,7
18**	3,7 CuCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 4,8 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 4,6 CuO + 4,6 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 стадия – 440 °C, 2 ч (воздух); 2 стадия – 350 °C, 2 ч (воздух)	100,0	23,8

Примечание. \* Совместное нанесение компонентов.

\*\* Раздельное нанесение компонентов (пар компонентов).

При введении смеси NO+CO+N<sub>2</sub> или NO+N<sub>2</sub> из газометра в кислородсодержащий транспортирующий поток (воздух или азотовоздушная смесь) NO частично окисляется до NO<sub>2</sub>. Поэтому газовая смесь, поступающая в каталитический реактор (во всех опытах  $V = 12000 \text{ ч}^{-1}$ ), наряду с CO и NO, содержит некоторое количество диоксида азота.

Первую серию экспериментов по определению активности катализаторов в исследуемой реакции проводили без использования хемосорбента (таблица, образцы 1–9). В опытах второй серии газовую смесь пропускали последовательно через адсорбер с хемосорбентом, а затем через реактор с катализатором (образцы 10–18). Переключая краны на распределителе газовых потоков, с помощью газоанализатора Testo 340 (Германия) определяли состав исходной газовой смеси или состав продуктов на выходе из реактора.

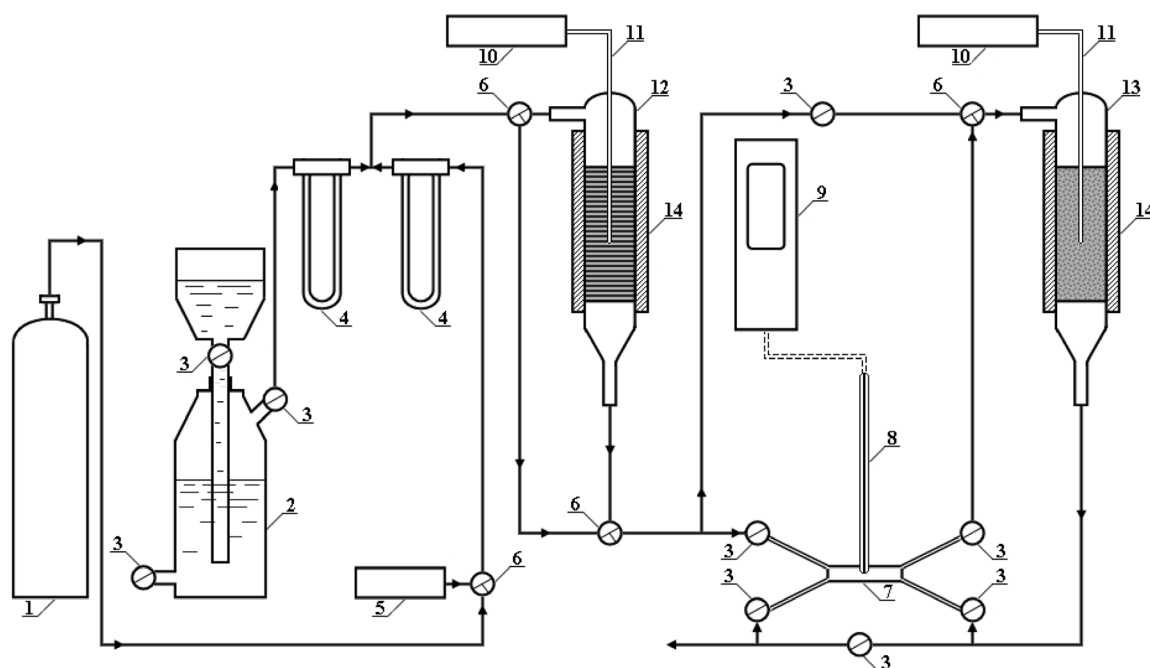


Рис. 1. Схема лабораторной установки для исследования активности синтезированных катализаторов в реакциях окислительно-восстановительного взаимодействия CO, NO и O<sub>2</sub>: 1 – баллон с азотом; 2 – газометр со смесью газов; 3 – двухходовой кран; 4 – реометр; 5 – компрессор; 6 – трехходовой кран; 7 – распределитель газовых потоков; 8 – зонд для отбора пробы; 9 – газоанализатор; 10 – регулятор температуры; 11 – термопара; 12 – адсорбер с хемосорбентом; 13 – реактор с катализатором; 14 – электропечь

Термодесорбцию NO с поверхности катализатора проводили в токе азота (расход 1 л/мин) при термопрограммированном подъеме температуры от 200 до 320 °С в течение 5–7 мин.

**Результаты и их обсуждение.** Как видно из таблицы, катализатор, полученный нанесением оксидов марганца и железа на  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (образец 1), не проявляет активности в реакции восстановления оксидов азота. Однако катализатор активен в окислении CO (конверсия CO составляет 81,3 %).

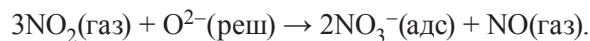
Представляют интерес двухкомпонентные катализаторы (образцы 2–5), содержащие оксиды железа и меди в равных количествах. Образец 2, полученный совместной пропиткой, активен в окислении CO кислородом (конверсия 91,8 %), но не обладает активностью в реакции восстановления NO<sub>x</sub> оксидом углерода. В то же время каталитические свойства образцов 3–5, полученных при раздельном нанесении оксидов железа и меди с промежуточными стадиями термообработки, существенно изменяются. Катализатор 3, содержащий по 2,3 мас.% оксидов железа и меди, проявляет активность как в восстановлении NO<sub>x</sub> оксидом углерода (конверсия 52,5 %), так и в окислении CO кислородом (конверсия CO – 100 %).

Можно предположить, что при нанесении нитрата меди на модифицированный оксидом железа  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и последующем прокаливании образца молекулы образующегося оксида меди, мигрируя по поверхности носителя, сталкиваются с кластерами Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При этом на границе раздела фаз возможно образование шпинелеобразной структуры (феррита меди), обладающей способностью хемосорбировать и активировать молекулы NO<sub>x</sub> и CO.

Конверсия NO<sub>x</sub> несколько увеличивается (55,1 %) с повышением содержания оксидных компонентов в 2 раза (образец 4). Однако при дальнейшем увеличении количества активной фазы (катализатор 5) конверсия оксидов азота заметно снижается. Образец 6, содержащий оксиды меди и церия, проявляет активность в окислении CO, но малоактивен в восстановлении NO<sub>x</sub>. Трехкомпонентные образцы 7–9 малоактивны как в окислении CO кислородом, так и в восстановлении NO<sub>x</sub>.

Проведенные эксперименты показали, что активность катализаторов в восстановлении NO<sub>x</sub> заметно снижается со временем, что, очевидно, связано с дезактивирующим влиянием диоксида

азота. Поэтому можно заключить, что вероятность восстановления  $\text{NO}_2$ , присутствующего в исходной газовой смеси, оксидом углерода в условиях нашего эксперимента не очень велика. Учитывая высокую сорбционную и химическую активность диоксида азота, можно предположить, что он, скорее, будет необратимо сорбироваться на активных центрах катализатора, тем самым отравляя его. Диоксид азота может сорбироваться и на поверхности оксида алюминия. Согласно [6], это происходит следующим образом:



При образовании нитрат-ионов  $\text{NO}_3^-$  расходуется решеточный кислород оксида и образуется дополнительное количество  $\text{NO}$ .

В связи с вышесказанным представлялось целесообразным предварительно удалять диоксид азота из газовой смеси с помощью хемосорбента (образцы 10–18, таблица).

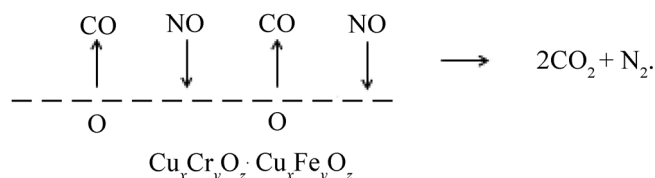
Как видно при сравнении активности образцов 10 и 12, 11 и 13, добавка диоксида церия к бинарной системе оксид железа–оксид меди заметно ускоряет реакцию окисления  $\text{CO}$  кислородом воздуха и несколько ингибирует окисление  $\text{CO}$  оксидом азота.

Эффективным катализатором восстановления  $\text{NO}$  оксидом углерода оказалась система, содержащая в качестве активных компонентов хромит меди, оксиды хрома, меди и железа. Наибольшая конверсия оксида азота (82,7 %) наблюдается в присутствии образца 17, восстановленного в токе  $\text{H}_2$  при температуре 350 °С. По-видимому, активация в токе водорода способствует формированию на поверхности катализатора центров, активных в осуществлении окислительно-восстановительной реакции с участием оксида азота. Такими центрами, по мнению авторов [7], могут быть ионные пары  $\text{Cu(I)}\text{--Cu(II)}$ , в которых ионы  $\text{Cu(II)}$  являются центрами адсорбции  $\text{NO}$ , а ионы  $\text{Cu(I)}$  – акцепторами атомов кислорода, образующихся при диссоциации  $\text{NO}$ .

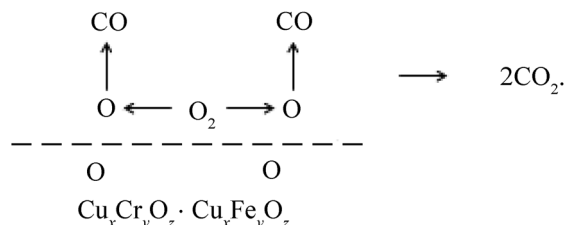
Как полагают авторы [8], активными центрами медно-хромитного катализатора после его обработки водородом являются атомы меди и ионы  $\text{Cu(I)}$ . В своей более ранней работе [9] они высказывают предположение о том, что роль оксида хрома заключается в ограничении степени восстановления меди через образование фазы хромита.

На металлооксидных катализаторах превращения  $\text{CO}$  и  $\text{NO}$  в присутствии  $\text{O}_2$  могут протекать по следующим реакциям.

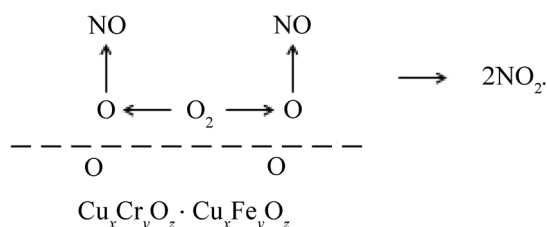
*Окисление  $\text{CO}$  оксидом азота* – сорбция  $\text{CO}$  и  $\text{NO}$  на активном центре, окисление  $\text{CO}$  решеточным кислородом и восстановление  $\text{NO}$  за счет отрыва кислорода металлооксидной фазой (регенерация решеточного кислорода):



*Окисление  $\text{CO}$  кислородом газовой фазы* – сорбция и активация газообразного кислорода на активном центре катализатора с последующим участием активированных атомов кислорода в окислении  $\text{CO}$ :



*Окисление  $\text{NO}$  кислородом газовой фазы* – сорбция и активация газообразного кислорода на активном центре катализатора с последующим участием активированных атомов кислорода в окислении  $\text{NO}$ :



Для выяснения характера реакций, протекающих с участием CO, NO и кислорода газовой фазы на поверхности нанесенного многокомпонентного металлооксидного катализатора, была проведена серия специальных экспериментов с использованием лучшего из синтезированных нами образцов (образец 17, таблица).

На рис. 2 представлены результаты превращения газовых смесей CO + N<sub>2</sub> (1) и CO + N<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> (2) на свежеприготовленном катализаторе. С повышением температуры в зоне реакции степень окисления CO возрастает и при 170 °С достигает 100 % независимо от наличия кислорода в газовой смеси (рис. 2, а). Следовательно, можно утверждать, что кислород металлооксидного активного компонента принимает непосредственное участие в реакции окисления CO. Как видно из рис. 2, б, при постоянной температуре процесса (200 °С) и подаче в зону реакции смеси CO + N<sub>2</sub> в течение первых 1,5 ч наблюдается 100 %-ное окисление CO (за счет решеточного кислорода), а затем конверсия CO резко снижается. В то же время при наличии в газовой смеси кислорода падения конверсии CO не наблюдается в течение всего эксперимента. Можно заключить, что кислород газовой фазы, сорбируясь на поверхности катализатора, активируется и компенсирует убыль решеточного кислорода.

Для получения данных относительно участия решеточного кислорода в превращении оксида азота были проведены эксперименты с подачей в зону реакции смеси NO + N<sub>2</sub>. На рис. 3, а представлены результаты, полученные на свежеприготовленном катализаторе (кривая 1) и на катализаторе, проработавшем в режиме окисления CO в отсутствие кислорода в газовой смеси, то есть на образце с большим дефицитом подвижного решеточного кислорода (кривая 2). Концентрация NO в азоте составляла 200 ppm. Сравнение кривых 1 и 2 показывает, что убыль NO зависит от степени дефицитности решеточного кислорода в катализаторе. В свежеприготовленном образце, очевидно, дефицит решеточного кислорода небольшой (обусловлен восстановительной обработкой катализатора на последней стадии его приготовления). Катализатор проявляет некоторую активность: концентрация NO на выходе из реактора в течение первых 20 мин опыта снижается примерно на 60 % (кривая 1), затем она постепенно повышается, достигая через 2 ч исходного значения (200 ppm). На образце, обедненном решеточным кислородом, в течение 40 мин идет

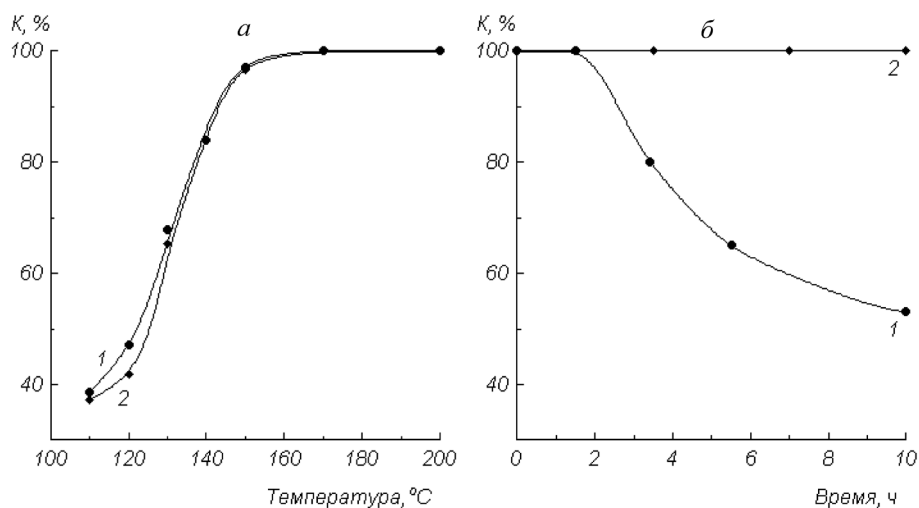


Рис. 2. Зависимость конверсии CO от условий опыта (катализатор 17, таблица): а – от температуры при ее повышении от 110 до 200 °С в течение 1,5 ч; б – от времени при 200 °С. 1 – подача в зону реакции CO + N<sub>2</sub>, 2 – подача в зону реакции CO + O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>. V = 12000 ч<sup>-1</sup>. Содержание CO в газовой смеси 0,12 об.%, O<sub>2</sub> – 10 об.%

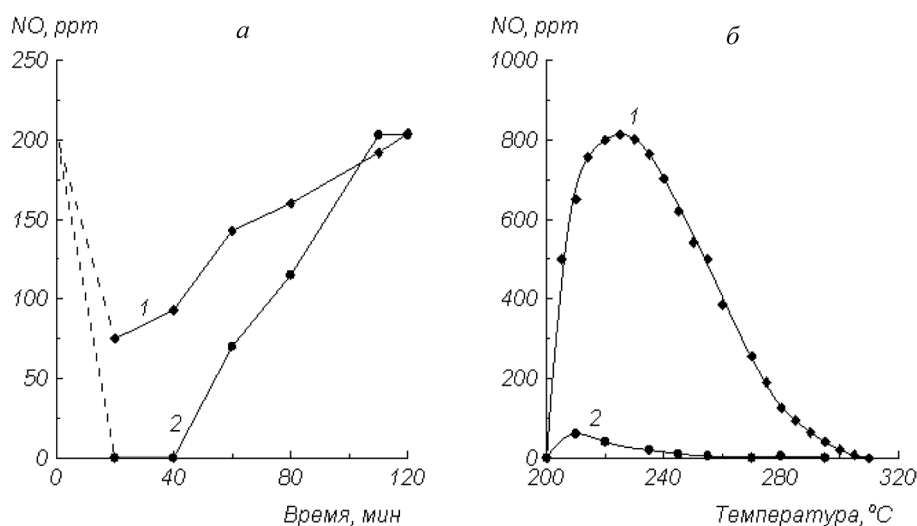
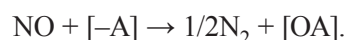


Рис. 3. Зависимость содержания NO на выходе из реактора от времени при пропускании смеси NO + N<sub>2</sub> при 200 °С (а); термодесорбция NO после опыта с пропусканием смеси NO + N<sub>2</sub> (б): 1 – свежеприготовленный катализатор (образец 17, таблица); 2 – катализатор (образец 17) с дефицитом решеточного кислорода

полное превращение оксида азота, затем на выходе из реактора появляется NO, количество его растет, и через 2 ч его содержание на входе и на выходе из реактора становится практически одинаковым.

С целью определения количества сорбированного на поверхности образцов оксида азота проведены эксперименты по термодесорбции NO, которые были фактическим продолжением опытов по восстановлению оксида азота катализатором. Для этого прекращали подачу NO и в токе азота проводили термодесорбцию, как было описано выше (экспериментальная часть).

Анализ полученных данных (рис. 3, б) показывает, что количество десорбированного оксида азота значительно больше в случае свежеприготовленного катализатора (кривая 1). Десорбция NO с поверхности образца, имевшего выраженный дефицит решеточного кислорода, незначительна (кривая 2). С помощью графического интегрирования зависимостей на рис. 3 найдено, что количество превращенного на этом образце оксида азота в 3,2 раза больше, чем на свежеприготовленном катализаторе. Можно утверждать, что восстановление NO в условиях проведенного эксперимента протекает в результате его сорбции на активном центре катализатора (восстановленном центре) и последующей стадии отрыва кислорода, который переходит в структуру металлооксидного компонента:



Следует отметить, что высокая сорбционная активность NO, зафиксированная в опыте на свежеприготовленном образце исследуемого металлооксидного катализатора, очевидно, является фактором, способствующим более высокой активности его в окислении CO по сравнению с кислородом газовой фазы и, как следствие, высокой селективности по NO. Однако для подтверждения этого предположения было необходимо получить дополнительные экспериментальные данные, поскольку в ряде работ [7, 10–12] отмечается, что кислород, присутствующий в газовой смеси, оказывает сильное ингибирующее действие на реакцию восстановления

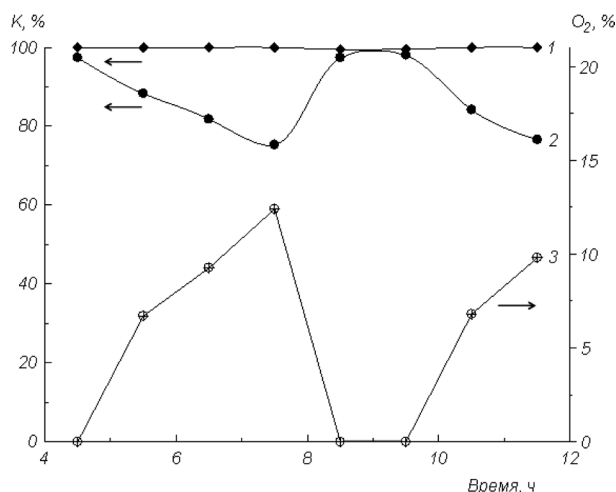
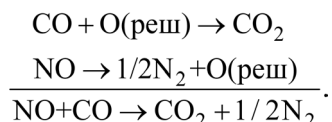


Рис. 4. Влияние содержания кислорода в исходной газовой смеси на конверсию NO и CO (катализатор 17, таблица): 1 – конверсия CO; 2 – конверсия NO; 3 – содержание O<sub>2</sub> в газовой смеси. Состав газовой смеси: CO – 0,12 об.%, NO – 0,015 об.%, O<sub>2</sub> – от 0 до 12 об.%, N<sub>2</sub> – остальное

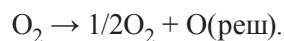
NO оксидом углерода из-за более быстрого окисления каталитических центров кислородом по сравнению с NO.

Результаты проведенного эксперимента, представленные на рис. 4, показывают, что в отсутствие кислорода в газовой смеси конверсия NO практически достигает 100 %. Введение в зону реакции большого избытка кислорода (до 12,4 об.% в составе газовой смеси) снижает этот показатель до 75,3 %, т. е. на ~25 отн.%. Это подтверждает наличие некоторой конкуренции между O<sub>2</sub> и NO за активные центры катализатора, которая тем не менее реализуется в пользу NO даже при большом избытке кислорода (12,4 об.% O<sub>2</sub> против 0,015 об.% NO).

Таким образом, результаты проведенного исследования позволяют сделать вывод, что разработанный нами металлооксидный катализатор на основе  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> работает в окислительно-восстановительном взаимодействии CO и NO по раздельному механизму, включающему окисление CO решеточным кислородом и последующее восстановление NO с регенерацией последнего:



Если в газовой смеси содержание CO больше стехиометрического, функцию окислителя, восполняющего дефицит кислорода катализатора, выполняет и газообразный кислород:



Вышеприведенная схема каталитического восстановления NO оксидом углерода не противоречит литературным данным [3, 7, 13, 14].

Существенным отличием проведенного нами исследования от результатов, описанных в научно-технической литературе, является разработка состава и способа приготовления нанесенного металлооксидного катализатора восстановления NO оксидом углерода, обладающего достаточно высокой селективностью по NO в присутствии кислорода. Это особенно важно для создания адсорбционно-каталитических систем, эффективно удаляющих вредные вещества из выхлопных газов автомобиля.

## Литература

1. Hecker W. C., Bell A. T. // J. of Catalysis. 1983. Vol. 84. Is. 1. P. 200-215.
2. Ward T. R., Alemany P., Hoffman R. // J. of Physical Chemistry. 1993. Vol. 97. P. 7691-7699.
3. Shelef M., Kummer J. T. // Chem. Eng. Prog., Symp. Ser. 1972. Vol. 67. P. 115.
4. London J. W., Bell A. T. // J. of Catalysis. 1973. Vol. 31. Is. 1. P. 96-109.
5. Карякин Ю. В., Ангелов И. И. Чистые химические вещества. М.: Химия, 1974.
6. Apostolescu N., Schroder T., Kureti S. // Applied Catalysis B: Environmental. 2004. Vol. 51. Is. 1. P. 43-50.
7. Parvulescu V. I., Grange P., Delmon B. // Catalysis Today. 1998. Vol. 46. Is. 4. P. 233-316.
8. Severino F., Brito J., Laine J., Fierro J., Lopez-Agudo A. // J. of Catalysis. 1998. Vol. 177. Is. 1. P. 82-95.
9. Severino F., Brito J., Carias O., Laine J. // J. of Catalysis. 1986. Vol. 102. Is. 1. P. 172-179.
10. Гасан-заде Г. З., Алхазов Т. Г. // Кинетика и катализ. 1990. Т. 31, № 1. С. 132-136.
11. Stegenga S., Van Soest R., Kapteijn F., Moulijn J. A. // Applied Catalysis B: Environmental. 1993. Vol. 2. P. 257-275.
12. Marquez-Alvarez C., Rodriguez-Ramos I., Guerrero-Ruiz A. // Carbon. 1996. Vol. 34. Is. 12. P. 1509-1514.
13. Nickolov R., Stankova N., Khristova M., Mehandjiev D. // J. of Colloid and Interface Science. 2003. Vol. 265. Is. 1. P. 121-128.
14. Lv Y., Liu L., Zhang H., Yao X., Gao F., Yao K., Dong Lin, Chen Y. // J. of Colloid and Interface Science. 2013. Vol. 390. Is. 1. P. 158-169.

L. N. SHACHENKOVA, L. L. POTAPOVA, M. F. GORBATSEVICH, V. Z. RADKEVICH, Yu. G. YEGIAZAROV

## A CATALYST OF NITROUS OXIDE REDUCTION BY CARBON MONOXIDE

### Summary

The catalyst for NO reduction by carbon monoxide containing copper chromite, chromium, copper and iron oxides on  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, has been developed. NO conversion over the catalyst in the reaction mixture containing 10 vol.% of oxygen is up to 83 % (200 °C, 12 000 h<sup>-1</sup>). Carbon monoxide oxidation proceeds at the expense of catalyst lattice oxygen, and the resultant reduced sites are oxidized by nitrous oxide or oxygen from gaseous phase.