

Кочеткова Варвара Сергеевна, Смирнов Борис Юрьевич

**СОПРЯЖЕННАЯ ОЧИСТКА ОТХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА И УГЛЕРОДА: ПРОЕКТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В статье рассмотрена проблема очистки отходящих дымовых газов от оксидов азота и углерода. Обоснован выбор метода каталитического восстановления оксидов азота, сопряженного с окислением оксида углерода до диоксида, применительно к котельной установке площадки "Самара-1" станции смешения нефти ОАО "Приволжскнефтепровод". Методами вычислительного эксперимента на основе разработанного алгоритма выполнены проектные исследования процесса, позволившие выбрать целесообразный катализатор для его эффективной реализации.

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2016/3/15.html](http://www.gramota.net/materials/1/2016/3/15.html)

**Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.**

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2016. № 3 (105). С. 56-58. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2016/3/](http://www.gramota.net/materials/1/2016/3/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

УДК 66.074.32

**Технические науки**

*В статье рассмотрена проблема очистки отходящих дымовых газов от оксидов азота и углерода. Обоснован выбор метода каталитического восстановления оксидов азота, сопряженного с окислением оксида углерода до диоксида, применительно к котельной установке площадки «Самара-1» станции смешения нефти ОАО «Приволжскнефтепровод». Методами вычислительного эксперимента на основе разработанного алгоритма выполнены проектные исследования процесса, позволившие выбрать целесообразный катализатор для его эффективной реализации.*

*Ключевые слова и фразы:* отходящие дымовые газы; оксиды азота и углерода; каталитическое восстановление оксидов азота при окислении оксида углерода; вычислительный эксперимент; эффективность катализатора.

**Кочеткова Варвара Сергеевна****Смирнов Борис Юрьевич**, к. хим. н., доцент

Самарский государственный технический университет

boris\_s57@mail.ru

### СОПРЯЖЕННАЯ ОЧИСТКА ОТХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА И УГЛЕРОДА: ПРОЕКТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оксиды азота и монооксид углерода относятся к числу наиболее опасных загрязнителей атмосферного воздуха. Известно, что эти вещества не только характеризуются повышенной токсичностью, но и, в силу своих физико-химических свойств, способны участвовать в ряде нежелательных атмосферных процессов: возникновение фотохимического смога, повышение кислотности атмосферных осадков, образование тропосферного и сокращение количества стратосферного озона. При этом в части перечисленных процессов оксиды азота выполняют каталитическую функцию, что делает их особо опасными загрязнителями.

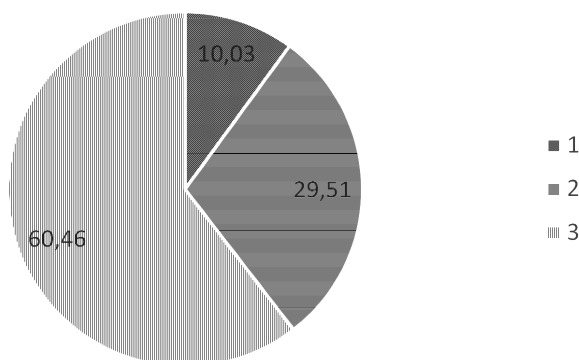
Анализ сведений о загрязнении атмосферного воздуха, содержащихся в Государственных докладах «О состоянии и об охране окружающей среды РФ» за 2011-2014 гг. [1-4], показал, что, несмотря на наблюдаемое в этот период сокращение общего объема выбросов от стационарных источников на 8,9%, доля выбросов оксида углерода уменьшилась менее чем на 2%, а доля выбросов оксидов азота возросла (Табл. 1). Усреднённый за указанный четырехлетний период вклад рассматриваемых загрязнителей в общий объем выбросов от стационарных источников показан на Рис. 1.

Таблица 1.

**Объём выбросов  $\text{NO}_x$  (в пересчёте на  $\text{NO}_2$ ) и  $\text{CO}$  в атмосферный воздух  
от стационарных источников в 2011-2014 гг. в Российской Федерации [1-4]**

Выбросы	Годы			
	2011	2012	2013	2014
Общий объем выбросов от стационарных источников, тыс. т / год	19162,3	19630,3	18446,5	17451,9
Объем выбросов $\text{NO}_x$ от стационарных источников, тыс. т / год	1880,0	1937,5	1874,2	1805,5
Объем выбросов $\text{CO}$ от стационарных источников, тыс. т / год	5753,5	6001,8	5350,9	4938,4
Доля выбросов $\text{NO}_x$ в общем объеме выбросов от стационарных источников, %	9,81	9,86	10,16	10,35
Доля выбросов $\text{CO}$ в общем объеме выбросов от стационарных источников, %	30,03	30,57	29,01	28,30

По данным Росгидромета, в 2011 году список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы включал 27 единиц, из них в 15 (55,6%) оксиды азота являлись веществами, определяющими их включение в этот список. В 2012 году таких городов было 15 из 28 (53,6%), в 2013 году – 14 из 29 (48,3%), в 2014 году – 18 из 19 (94,7%) [Там же].



**Рис. 1.** Усреднённый за 2011-2014 гг. вклад оксидов азота (1), оксида углерода (2) и других загрязнителей (3) в общий объем выбросов от стационарных источников

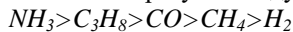
Из стационарных источников эмиссии оксидов азота и углерода в атмосферу особое место занимают энергетические установки, генерирующие энергию за счёт сжигания различных видов топлива. Используемые технологические мероприятия, направленные на снижение содержания этих веществ в отходящих дымовых газах, недостаточно эффективны, что определяет значимость совершенствования методов очистки [5].

Актуализированный в рамках настоящей работы выполненный ранее аналитический обзор [Там же] показал, что приоритетные технологии очистки отходящих дымовых газов от оксидов азота основываются на их каталитическом и некаталитическом восстановлении, адсорбции и абсорбции. При этом, судя по публикационной активности, особый интерес представляют методы каталитического восстановления оксидов азота с использованием различных реагентов: аммиака, метана, пропана, водорода, оксида углерода [5; 6]. Особенность последнего из перечисленных восстановителей заключается в том, что он уже содержится в отходящих дымовых газах. В этой связи представляется целесообразным осуществить сопряжённую очистку газового потока сразу от двух высокотоксичных приоритетных загрязнителей.

Ранее нами был выполнен термодинамический анализ восстановления оксидов азота в отходящих дымовых газах [6]. Рассматривались следующие химические схемы:



Было установлено, что в порядке убывания предельной (равновесной) эффективности рассмотренные восстановители образуют следующий ряд:



Следует отметить, что термодинамическая вероятность протекания всех указанных реакций – достаточно высока для их практической реализации. Применение же оксида углерода в качестве восстановителя привлекательно по указанным выше причинам, а именно: отсутствие необходимости введения дополнительного реагента и освобождение отходящих дымовых газов одновременно (сопряжённо) от двух загрязнителей.

В этой связи в рамках настоящей работы выполнены проектные исследования эффективности использования каталитических композиций в процессе восстановления оксидов азота при сопряжённом окислении оксида углерода до диоксида. Исследования выполнены применительно к условиям котельной установки площадки «Самара-1» станции смешения нефти ОАО «Приволжскнефтепровод».

В качестве катализаторов протекающих реакций рассмотрены системы Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [7] и Pt-Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [8].

Механизм реакции восстановления оксидов азота оксидом углерода на данных катализаторах в общем виде можно описать следующей стадийной схемой:



где {\*} – вакантная адсорбционная область на поверхности катализатора.

Для сравнительной оценки эффективности действия названных катализаторов был разработан алгоритм вычислительного эксперимента, основанный на модели адиабатического реактора идеального вытеснения. В качестве кинетической составляющей использованы уравнения скоростей реакций восстановления оксидов азота и окисления оксида углерода следующего вида [7; 8]:

$$r_{NOx} = \frac{k \lambda_{NOx} P_{NOx}}{(1 + \lambda_{NOx} P_{NOx} + \lambda_{CO} P_{CO})^2}$$

$$r_{CO} = A \cdot r_{NOx},$$

где  $k$  – константа скорости;

$\lambda_{NOx}$ ,  $\lambda_{CO}$  – адсорбционные коэффициенты для оксидов азота и оксида углерода соответственно;

$P_{NOx}$ ,  $P_{CO}$  – парциальное давление оксидов азота и оксида углерода в газовой смеси соответственно;

$A$  – эмпирический коэффициент.

В результате компьютерной реализации вычислительной процедуры методом Рунге-Кутты с использованием характеристик отходящих дымовых газов котельной установки площадки «Самара-1» станции смешения нефти ОАО «Приволжскнефтепровод» было установлено, что для достижения одинаковой степени освобождения газового потока от оксидов азота и оксида углерода необходимая масса катализатора Pt-Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – на 20% меньше по сравнению с другой каталитической композицией. Последнее свидетельствует о целесообразности

применения катализатора Pt-Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в процессе сопряженной очистки отходящих дымовых газов от оксидов азота и монооксида углерода.

*Список литературы*

1. **О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году** [Электронный ресурс]: Государственный доклад. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1392> (дата обращения: 09.03.2016).
2. **О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году** [Электронный ресурс]: Государственный доклад. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1528> (дата обращения: 09.03.2016).
3. **О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2013 году** [Электронный ресурс]: Государственный доклад. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1683> (дата обращения: 09.03.2016).
4. **О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году** [Электронный ресурс]: Государственный доклад. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1756> (дата обращения: 09.03.2016).
5. **Смирнов Б. Ю.** Об очистке газовых выбросов от оксидов азота // Альманах современной науки и образования. 2012. № 5 (60). С. 124-126.
6. **Смирнов Б. Ю.** Термодинамический анализ восстановления оксидов азота в отходящих дымовых газах // Академический журнал Западной Сибири. 2015. Т. 11. № 1 (56). С. 122-123.
7. **Granger P., Dathy C., Lecomte J. J.** Kinetics of the NO and CO Reaction over Platinum Catalysts // Journal of Catalysis. 1998. № 173. P. 304-314.
8. **Granger P., Lecomte J. J., Dathy C.** Kinetics of the CO+NO Reaction over Rhodium and Platinum-Rhodium on Alumina // Journal of Catalysis. 1998. № 175. P. 194-203.

**COUPLED PURIFICATION OF FLUE GASES FROM NITROGEN AND CARBON OXIDES: PROJECT STUDY**

**Kochetkova Varvara Sergeevna**  
**Smirnov Boris Yur'evich**, Ph. D. in Chemistry, Associate Professor  
*Samara State Technical University*  
*boris\_s57@mail.ru*

The article considers the problem of the purification of flue gases from nitrogen and carbon oxides. The authors substantiate the choice of the method of the catalytic reduction of nitrogen oxides coupled with the oxidation of carbon oxide to dioxide in relation to the boiler installation of the ground "Samara-1" of the oil-mixing station of the public corporation "Privolzhsknefteprovod". Using the methods of computing experiment on the basis of the developed algorithm the authors carry out a project study of the process, which allows selecting a suitable catalyst for its effective implementation.

*Key words and phrases:* flue gases; nitrogen and carbon oxides; catalytic reduction of nitrogen oxides in oxidation of carbon oxide; computing experiment; catalyst efficiency.

УДК 784.3

**Искусствоведение**

*Статья рассматривает становление индивидуальной манеры композитора Сергея Слонимского на материале вокального творчества. Среди его вокальных опытов важное место заняли произведения, связанные с поэзией русского Серебряного века, а также экспериментальные циклы «Польские строфы» и «Лирические строфы», «Весёлые песни» и «Песни трубадуров». Особую линию вокального творчества раннего Слонимского составили произведения, опирающиеся на древневосточные поэтические тексты. Важнейшие особенности раннего вокального творчества Слонимского состоят в поиске нестандартных художественных решений и в использовании нетрадиционных приёмов в пении и инструментальном исполнении.*

*Ключевые слова и фразы:* Сергей Слонимский; становление индивидуальной манеры; раннее вокальное творчество; нестандартность художественных решений; нетрадиционные приёмы.

**Кузнецова Светлана Григорьевна**, доцент  
*Российская академия музыки имени Гнесиных, г. Москва*  
*revica63@bk.ru*

**СЕРГЕЙ СЛОНИМСКИЙ: НА ИСХОДНЫХ РУБЕЖАХ ВОКАЛЬНОГО ТВОРЧЕСТВА**

Выдающийся петербургский композитор Сергей Михайлович Слонимский (род. 1932) в своём творчестве охватил все жанры современного музыкального искусства. За шесть десятилетий исключительно плодотворной деятельности он создал множество симфоний, концертных и камерно-инструментальных композиций, опер и балетов, кантат и хоровых сочинений. Важное место среди этого художественного изобилия заняла вокальная музыка. И поскольку она преобладала на раннем этапе длительной творческой эволюции, представляется примечательным обратиться к её рассмотрению, чтобы выяснить, как начиналось становление индивидуальной манеры крупнейшего мастера современного искусства.