

УДК 546.172.6

СОРБЦИЯ ОКИСЛОВ АЗОТА ИЗ ОТХОДЯЩИХ НИТРОЗНЫХ ГАЗОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ

© 2021 г. Д. А. Новикова*, О. М. Флисюк, Н. А. Марцулевич, А. В. Гарабаджиу

*Санкт-Петербургский государственный технический институт (технологический университет),
Московский пр. 26, Санкт-Петербург, 190013 Россия
e-mail: darjanvk@mail.ru

Поступило в Редакцию 14 мая 2021 г.
После доработки 14 мая 2021 г.
Принято к печати 29 мая 2021 г.

Рассмотрены методы поглощения окислов азота, приведена их характеристика, выявлены преимущества и недостатки. Представлен перспективный метод поглощения монооксида азота сорбентом на основе диоксида марганца с возможностью регенерации сорбента и последующего использования продуктов абсорбции.

Ключевые слова: монооксид азота, диоксид азота, очистка газа

DOI: 10.31857/S0044460X21070179

Одна из наиболее сложных экологических проблем – выбросы отходящих газов, содержащие токсичные вещества, в том числе оксиды азота. Предельно-допустимое среднесуточное количество оксида азота(IV) в атмосферном воздухе населенных мест – 0.04 мг/м³, оксида азота(II) – 0.06 мг/м³, а разовое максимальное количество оксидов азота должно быть не более 0.04 мг/м³ (3 класс опасности) [1].

Очистка газа от оксида азота(I) (оксид диазота) N₂O не является первостепенной задачей, так как в отходящих газах в больших количествах он образуется редко, и, наоборот, он специально вырабатывается для нужд различных сфер, таких как, медицинская, пищевая, авиационная, автомобильная. В медицине, например, он используется в качестве наркотика, под названием «веселящий газ».

Оксид азота(II) (монооксид азота) NO – бесцветный газ без запаха, гидрофобен, не растворяется в воде, не реагирует со щелочами и с карбонатами, поэтому его улавливание вызывает трудности.

Оксид азота(IV) NO₂ – ядовитый бурый газ с неприятным запахом. Выбросы NO₂ («лисий хвост») несут большую опасность.

Оксид азота(V) N₂O₅ – ядовитый газ, однако он стабилен исключительно при температуре не выше +10°C. Взрывоопасен при соединении с органическими веществами. При разложении образует NO₂ – оксид азота(IV).

Выбрасываемые газы различаются по количеству в них оксидов азота и других примесей, по степени окисления оксидов азота, температуре и т. д. Естественный процесс образования оксидов азота в природных условиях – это электрические разряды во время гроз, пожары, вулканическая деятельность. Кроме того, монооксид азота поступает в атмосферу в результате жизнедеятельности азотфиксирующих бактерий. Концентрация диоксида азота в приземном слое атмосферы может достигать 0.0015 мг/м³, что считается естественным фоном.

Объекты химической промышленности, в результате действия которых в атмосферу попадают окислы азота, потенциально опасны для окружающей среды. Контролируемое воздействие на окружающую среду по оценочным данным составляет лишь 20% от реального воздействия (аварии, неучтенные источники, занижение данных, сознательное нарушение норм и правил в ночное время, залповое воздействие и т. д.) [2].

Один из основных источников образования опасных окислов азота – производство взрывчатых веществ и азотной кислоты. В настоящее время азотную кислоту получают окислением синтетического аммиака [2]. На стадии окисления аммиака образуется оксид азота(II), который затем окисляется кислородом воздуха до оксида азота(IV) и из-за неполноты его поглощения в абсорбционных колоннах вместе с недоокисленным NO выбрасывается в атмосферу. Отходящие газы производства азотной кислоты содержат на выходе из абсорбционных колонн от 0.05 до 0.2 об% оксидов азота, в том числе оксид азота(II) в количестве, значительно превышающем предельно допустимые концентрации [3].

Топливные отрасли занимают первое место по выбросам в атмосферу вредных веществ, на них приходится 30% общероссийских загрязнений и 35% промышленных выбросов. Степень переработки промышленных отходов в данных отраслях также низкая – около 35%. Большое количество оксидов азота образуется при сжигании твердых, жидких и газообразных видов топлива. Их концентрация в дымовых газах может достигать 2 г/м³ [4, 5]. Топливный оксид азота образуется из-за присутствия азотсодержащих соединений в топливе. При сжигании топлива азот, содержащийся в воздухе и топливе, становится реакционноспособным и, соединяясь с кислородом, образует оксиды.

В отходящих газах, как правило, находится смесь оксидов азота различной степени окисления, среди которых преобладает оксид азота(II), плохо растворимый в большинстве известных поглотителей. Окислы азота дымовых газов состоят на 85–90% из NO и на 10–15% из NO₂. В атмосфере происходит быстрое окисление NO в NO₂, что усиливает отрицательное воздействие дымовых газов на природу и живые организмы, поскольку диоксид азота более токсичен [6].

Выделение оксида и диоксида азота происходит при производстве нитратов целлюлозы. Образующиеся смеси азотной, серной кислот и воды подвергаются регенерации для повторного использования отработанных кислот. В ходе воздействия на отработанные кислоты острым паром происходит выделение в газовую фазу NO и NO₂, образующихся при разложении нитрозилсерной, азотной кислот и нитросоединений [7]. Нитрозные газы охлаждают с целью получения азотной кислоты с концентрацией 98%. Несконденсировавшиеся пары азотной кислоты при 30–45°C поступают на абсорбцию. Количество нитрозных газов может достигать 1500 м³/ч, а их доля в общем количестве газов – 33% и более. Из этого следует, что нитрозные газы необходимо улавливать на выходе из колонных аппаратов [8].

В выхлопных газах присутствуют оксиды азота с различной степенью окисления: газы слабо окисленные (доля NO более 60% от общего количества NO и NO₂), средне окисленные (доля NO в пределах 45–60%), высоко окисленные (оксиды азота преимущественно в виде NO₂, доля которого 60–70 % от их общего количества).

Содержащиеся в атмосферном воздухе оксиды азота наносят вред окружающей среде. Отрицательное влияние загрязнения атмосферы выражается в ухудшении здоровья людей, животных, снижении урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животных [9], выпадении кислотных дождей.

Бесцветный монооксид азота NO не вызывает раздражения дыхательных путей, поэтому человек может его не почувствовать. При вдыхании оксид азота NO подобно угарному газу связывается с гемоглобином. Образующееся нестойкое нитрозосоединение быстро превращается в метгемоглобин, Fe²⁺ переходит в Fe³⁺, который не способен обратимо связывать O₂ и не участвует в процессе переноса кислорода. Концентрация метгемоглобина в крови 60–70% считается летальной.

При удаленности от источника выброса большее количество NO превращается в NO₂. При действии оксида азота(IV) в растениях разрушается хлорофилл, повреждаются листья и хвоя. Прямое воздействие NO₂ на растения можно определить по изменению цвета листьев и игл, в результате

окисления хлорофилла они становятся желтыми или бурыми. Кроме хлорофилла в растениях окисляются жирные кислоты, из-за чего происходит разрушение мембран и некроз. В клетках растений образуется азотистая кислота, оказывающая мутагенное действие. Вследствие негативного воздействия NO_2 на растения происходит увядание цветков, прекращение плодоношения и роста. Для растений опасна концентрация NO_2 0.35 мг/м³ и выше. В городах и районах со средней концентрацией NO_2 0.2–0.3 мг/м³ существует опасность повреждения растительности диоксидом азота. Однако в сравнении с человеком растения менее восприимчивы к воздействию чистого диоксида азота, что связано с особенностями метаболизма растений, которые могут поглощать часть NO_2 в качестве удобрения.

Диоксид азота оказывает раздражающее действие на дыхательные пути и слизистую оболочку глаза. Поглощая естественную радиацию как в ультрафиолетовой, так и в видимой части спектра, он снижает прозрачность атмосферы и способствует образованию фотохимического тумана – смога [10].

Согласно результатам социально-гигиенического мониторинга атмосферного воздуха, было установлено, что в части районов крупных городов России превышена предельно-допустимая концентрация диоксида азота [11]. Загрязнение атмосферного воздуха в городах может привести к заболеванию органов дыхания, крови, увеличению смертности местного населения. Поэтому необходимо разрабатывать и внедрять технологии, способствующие снижению вредного воздействия окислов азота, наносимого окружающей среде и здоровью людей.

Способы обезвреживания газовых выбросов от оксидов азота можно разделить на следующие группы:

- организационно-технологические мероприятия по снижению содержания оксидов азота в выбросах;
- окисление оксида азота в диоксид с последующим поглощением последнего различными поглотителями;
- восстановление оксидов азота до нетоксичных соединений;

– сорбция оксидов азота различными поглотителями.

При больших объемах газовых выбросов и при малом количестве в них оксидов азота прибегают к совершенствованию технологии сжигания топлива, которое бы сводило к минимуму образование оксидов азота в пламени горящего материала [12] (снижение температуры в топке, рециркуляция продуктов сгорания, впрыск влаги или пара в топку, двухступенчатое сжатие, сжигание топлива с малыми избытками воздуха, сжигание в кипящем слое, ввод присадок, усовершенствование горелок [13], предварительный подогрев топлива).

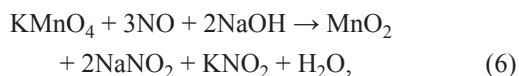
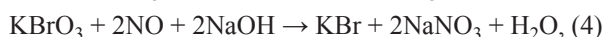
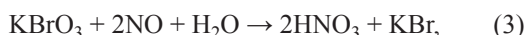
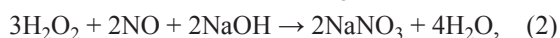
Совершенствованием технологии сжигания топлива можно частично решить проблему снижения количества оксидов азота в газовых выбросах энергоустановок без использования реагентов и без значительных капитальных затрат. Использование вышеперечисленных методов позволяет значительно снизить выбросы оксидов азота в атмосферу, но этого недостаточно для решения экологических проблем в крупных промышленных регионах. Данные мероприятия эффективны только в сочетании с дополнительной очисткой газов.

Наиболее трудно удаляются слабо окисленные нитрозные газы. Диоксид и высшие оксиды азота сравнительно хорошо поглощаются водой и водными растворами некоторых солей, оксид азота (NO) большинством из указанных растворов не поглощается. Для полного поглощения оксидов азота из газовых смесей необходимо предварительное окисление NO до NO_2 не менее чем на 50–55%.

Суть окислительных методов сводится к окислению монооксида азота и переводу его в реакционноспособную форму диоксида с целью его дальнейшего поглощения. В качестве окислителя можно использовать озон, который получают на месте его потребления [14, 15]. На первой стадии монооксид азота быстро окисляется в диоксид [16], на второй стадии происходит абсорбция полученного диоксида азота. Основной недостаток озонирования – высокая энергоемкость. В настоящее время окислительные методы очистки от оксида азота(II) широко не распространены.

Скорость окисления NO можно увеличить при проведении окисления в жидкой фазе с помощью жидких окислителей. К жидким окислителям, пре-

восходящим по окислительной способности кислород, относятся водные растворы H_2O_2 , KMnO_4 , KBrO_3 , Na_2CrO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, HNO_3 . Окисление NO протекает по уравнениям (1)–(6).



Внедрению абсорбционно-окислительных методов препятствуют высокая стоимость окислителей, трудность регенерации отдельных соединений и проблемы утилизации продуктов окисления из-за с их ограниченной востребованности. Поэтому абсорбционно-окислительные методы рекомендованы к использованию при объемах отходящих газов, не превышающих 15 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ [17].

Восстановительные методы основаны на использовании восстановителей, позволяющих переводить оксиды азота в элементный азот, что экологически более приемлемо. К приоритетным методам снижения концентрации оксидов азота в отходящих дымовых газах теплотехнических установок относятся их некаталитическое и каталитическое восстановление.

Первоначально в качестве восстановителя в некаталитических процессах использовали аммиак, что представляло опасность для окружающей среды, поскольку помимо хранения и транспортировки этого токсичного реагента необходимы надежные методы дозирования, точного контроля и последующей деструкции [18]. В настоящее время популярность приобрели восстановители на основе карбамида, например, обработка потока дымовых газов в их высокотемпературной зоне (700–1200°C) газообразной восстановительной смесью, полученной предварительно при термическом разложении твердого карбамида вне зоны обработки очищаемых газов и подаваемой в зону очистки газом-носителем [19]. В качестве восстановителя применяли также водные растворы карбамида, карбоната аммония и их смеси. При использовании восстановителя, полученного совместным термическим разложением карбамида и

перекиси водорода, возможно понижение температуры обрабатываемых газов до 200–700°C [20].

При двухстадийном восстановлении оксидов азота [21] на первой стадии происходит восстановление карбамидом при высоких температурах, а на второй – доочистка газов от остаточных оксидов азота при более низких температурах. К преимуществам такой технологии относится увеличение суммарной эффективности восстановления по сравнению с эффективностью отдельных стадий очистки; существенно уменьшается жесткая зависимость эффективности процесса от колебаний температуры в высокотемпературной стадии.

Селективное каталитическое восстановление оксидов азота возможно углеводородами в кислородсодержащей среде. Интенсивно ведутся разработки катализаторов и условий реализации этой методики [22]. Наиболее активны при восстановлении оксидов азота металлы платиновой группы, но их применение ограничивает высокая стоимость [23].

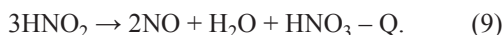
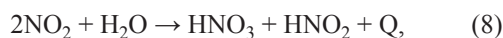
Среди сорбционных методов очистки от оксидов азота можно выделить абсорбцию оксидов азота жидкими поглотителями и адсорбцию твердыми сорбентами. Для абсорбции оксидов азота используют воду, водные растворы щелочей, кислот или жидкие неводные абсорбенты. Водная абсорбция диоксида азота используется при производстве азотной кислоты и нитратов целлюлозы. Однако полностью удалить оксиды азота невозможно из-за образования кислот с выделением оксида азота(II) (7) [24].



Для ускорения повторного окисления монооксида азота в диоксид процесс ведут под давлением. Скорость окисления зависит от концентрации оксида азота, с уменьшением его концентрации она резко понижается. Для увеличения скорости окисления необходимо увеличение поверхности контакта газовой и жидкой фаз, повышение скорости диффузии оксида азота и кислорода из газовой фазы в жидкую фазу за счет применения массообменной аппаратуры с интенсивным гидродинамическим режимом взаимодействием фаз.

Для абсорбции нитрозных газов после денитрации отработанных кислот применяют систему на-

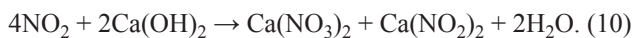
садочных колонн, а также барботажные колонны Варваричева и абсорбционные колонны с газлифтными тарелками. Возможность использования многоступенчатых аппаратов объясняется большой скоростью абсорбции смеси NO_2 и N_2O_4 – димера, образующегося при относительно высокой концентрации NO_2 . Однако система абсорберов не обеспечивает современные санитарные нормы очистки газов. Невысокая скорость абсорбции оксидов азота объясняется обратимостью и низкой скоростью гидролиза NO_2 (8), (9).



На границе раздела фаз образуется туман азотной кислоты, оксиды азота и пары азотной кислоты диффундируют через пленку тумана кислоты. При увеличении относительной скорости газового потока количество тумана уменьшается и процесс интенсифицируется. Это означает, что первые ступени абсорбера нужно оснащать контактными устройствами с высоким значением коэффициента массоотдачи в газовой фазе.

Для удаления оксидов азота из отходящих газов применяют растворы щелочей и солей [25], например, растворы Na_2CO_3 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$, реже – NaOH и KOH .

Поглощение оксидов азота щелочным раствором $\text{Ca}(\text{OH})_2$ протекает по реакции (10).



Этот способ очистки требует больших капитальных затрат и эксплуатационных расходов, но главный его недостаток в том, что при степени абсорбции оксидов азота 60–75% он не обеспечивает санитарной нормы очистки газов.

Оксиды азота при их небольшой концентрации поглощаются раствором мочевины. Данный реагент переводит оксиды азота в нейтральный азот по уравнению (11).



Для улавливания оксидов азота из газа дешев и доступен сорбент из торфа и извести. Поглощение торфощелочным сорбентом проводят в аппарате с кипящим слоем для увеличения интенсивности процесса. Введение в кипящий слой аммиака и предварительная обработка торфа аммиаком улучшают массообмен. Так как торф способствует

окислению нитритных солей до нитратных, вместе с очисткой газа получаются азотно-торфяные удобрения.

В качестве органического сорбента для поглощения оксидов азота используются водные растворы трибутилфосфата (ТБФ). Данный сорбент обладает высокой емкостью абсорбции, способен поглощать оксиды азота с большой скоростью, и его регенерация методом десорбции при снижении давления или нагревании не вызывает трудностей. При поглощении оксидов азота трибутилфосфатом происходит образование сольватов $\text{ТБФ} \cdot \text{NO}_2$ или $2(\text{ТБФ}) \cdot \text{N}_2\text{O}_4$ и физическое растворение NO_2 . С уменьшением степени окисления газа возрастает общая растворимость оксидов азота за счет поглощения N_2O_3 [26]. Для реализации этого способа необходимо решение вопросов, связанных с растворимостью трибутилфосфата в растворах азотной кислоты, его влиянием на качество и свойства получаемых в дальнейшем на основе отработанного сорбента удобрений или других продуктов его переработки, уносом выхлопными газами аэрозолей трибутилфосфата и последствиями этого явления.

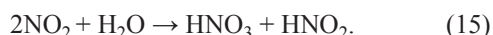
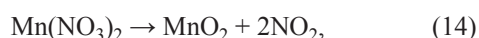
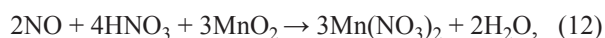
Абсорбционные методы – наиболее доступны для очистки дымовых газов от оксидов азота. Однако при использовании абсорбционной очистки не всегда удается полностью удалить оксиды азота из газа, так как поглощение ряда реагентов сопровождается образованием оксида азота(II).

Поглощение оксидов азота из газов твердыми сорбентами позволяет глубоко очистить газы, а также получить концентрированные оксиды азота после их десорбции из сорбента изолированным теплоносителем. Наиболее эффективный твердый сорбент – активированный уголь, однако в процессе адсорбции и особенно при десорбции он быстро окисляется, вследствие чего возникает опасность его самовозгорания; кроме того, активированный уголь имеет низкую механическую прочность [27].

В качестве твердых сорбентов исследованы также силикагель, алюмогель, алюмосиликат и синтетические цеолиты [28]. Лучшие из изученных сорбентов – синтетические цеолиты и алюмосиликат. Синтетические цеолиты имеют сильно развитую поверхность и обладают хорошими сорбционными свойствами [26]. Алюмосиликатный сорбент

характеризуется высокой поглотительной способностью, механической прочностью, твердостью и термостойкостью. Он способен ускорять окисление NO и может быть использован для очистки газов с малой степенью окисления.

Известны способы адсорбции оксидов азота оксидами металлов при окислении озоном [29–31]. Методы не получили широкого распространения из-за дороговизны. Разработан способ улавливания монооксида азота NO с помощью сорбента на основе диоксида марганца MnO₂ с последующим получением азотной кислоты [32]. Оксид марганца(IV) взаимодействует с оксидом азота(II) в присутствии азотной кислоты HNO₃ с образованием нитрата марганца Mn(NO₃)₂ (12). Оксид азота NO может взаимодействовать с азотнокислой суспензией MnO₂ по реакции (13) прямого взаимодействия NO с MnO₂. Из полученной соли марганца при прокаливании (14) можно получить диоксид азота и переработать его в азотную кислоту (15). Оксид марганца(IV) можно вновь использовать в качестве сорбента.



В ходе экспериментальных исследований установлена возможность поглощения оксида азота(II) NO из газовой смеси со степенью извлечения до 85%. Чистый диоксид марганца достаточно дорог, поэтому предложено использовать суспензию железомарганцевых конкреций с оксидом марганца(IV) в качестве активного вещества. Исследования показали, что суспензия на основе железомарганцевых конкреций – эффективный сорбент, позволяющий извлечь до 85% оксида азота NO из газовых смесей. Железомарганцевые конкреции обладают невысокой стоимостью, доступны, легко регенерируются и химически активны.

Из множества методов очистки газов от оксидов азота лишь малая часть реализуется в промышленности из-за недостатков, связанных в основном с большими энергозатратами и дороговизной. Открытыми остаются вопросы регенерации сорбентов и дальнейшего применения полученных при поглощении продуктов адсорбции.

Продолжаются разработка эффективных методов поглощения и поиск относительно дешевых и доступных сорбентов, способных поглощать оксиды азота из газовых выбросов, в том числе и при их малой концентрации, адсорбентов, характеризующихся большой поглотительной емкостью и простотой утилизации или регенерации.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новикова Дарья Алексеевна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5137-6708>

Флисюк Олег Михайлович, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0527-8725>

Марцулевич Николай Александрович, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9206-5976>

Гарабаджиу Александр Васильевич, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3762-5413>

ФОНДОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 21-79-30029).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

А.В. Гарабаджиу является членом редколлегии Журнала общей химии. Остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 22 декабря 2017 г. № 165 «Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений».
2. Федоров А.С., Коваленко Л.Б. // Академия Энергетики. 2009. № 5 (31). С. 46.
3. Флисюк О.М., Новикова Д.А., Марцулевич Н.А., Гришин В.В. // ЖПХ. 2018. Т. 91. Вып. 5. С. 709; Fli-syuk O.M., Novikova D.A., Martsulevich N.A., Gri-shin V.V. // Russ. J. Appl. Chem. 2018. Vol. 91. N 5. P. 822. doi 10.1134/S1070427218050130
4. Гришук М.Е., Круглов О.А., Полуянов В.П. // Вестн. Белгородск. гос. технол. унив. им. В.Г. Шухова. 2008. № 1. С. 89.
5. Волкодаева М.В., Канчан Я.С., Ломтев А.Ю. // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2018. Т. 13. № 2. С. 759.

6. Таймаров М.А., Кувшинов Н.Е., Ахметова Р.В., Сунгатуллин Р.Г., Чикляев Д.Е. // Вестн. Казанск. технол. унив. 2016. Т. 19. № 20. С. 80.
7. Степанов И.Н., Халитов Р.А., Махоткин А.Ф. // Вестн. Казанск. технол. унив. 2013. Т. 16. № 19. С. 116.
8. Махоткин А.Ф., Халитов Р.А., Петров В.И., Касимов М.Р., Валеев И.И. // Вестн. Казанск. технол. унив. 2013. № 23. С. 46.
9. Воскобойникова В.А. // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 1–3. С. 15. doi 10.24411/2500-1000-2021-10114
10. Афанасьев С.В., Шевченко Ю.Н., Волков Д.А., Мельникова Д.А. // Экология урбанизированных территорий. 2020. № 4. С. 33. doi 10.24412/1816-1863-2020-4-33-40
11. Пузырев В.Г., Щерба Е.В., Васильева И.В., Бондаренко В.В. // Медицина и организация здравоохранения. 2019. Т. 4. № 4. С. 18.
12. Редько А.А., Давиденко А.В., Павловский С.В., Куликова Н.В., Павловская А.А., Редько И.А. // Проблемы региональной энергетики. 2017. № 1 (33). С. 54.
13. Таймаров М.А., Ахметова Р.В., Сунгатуллин Р.Г., Лавирко Ю.В., Желтухина Е.С. // Изв. КазГАСУ. 2017. № 1 (39). С. 180.
14. Noori H., Raud J., Talviste R., Jõgi I. // Ozone: Science & Engineering. 2020. N 12. P. 1. doi 10.1080/01919512.2020.1839379
15. Lin F., Wang Z., Zhang Z., He Y., Zhu Y., Shao J., Yuan D., Chen G., Cen K. // Chem. Eng. J. 2020. Vol. 382. 123030. doi 10.1016/j.cej.2019.123030
16. Туркин А.В. // Вестн. АГТУ. Сер. Морская техника и технол. 2014. № 3. С. 89.
17. Комарова Л.Ф., Кормина Л.А. Инженерные методы защиты окружающей среды. Барнаул: Алтай, 2000. 395 с.
18. Третьяков В.Ф., Бурдейная Т.Н. // Зеленая химия в России. Москва, 2004. С. 52.
19. Кужеватов С.А., Куценко Е.В., Глейзер И.Ш., Сенявин В.М. Пат. 2286839 (2004). РФ.
20. Кулиш О.Н., Кужеватов С.А., Ребров А.И., Орлова М.Н., Антипова Н.В. Пат. 2314861 (2006). РФ.
21. Кулиш О.Н., Кужеватов С.А., Орлова М.Н., Иванова Е.В. // Чистый город. 2009. № 4. С. 17.
22. Лазарев М.Ю., Махоткин И.А., Шарафисламов Ф.Ш. // Вестн. Казанск. технол. унив. 2012. Т. 15. № 7. С. 11.
23. Смирнов Б.Ю., Смирнова С.Б., Альбитер Л.М. // Изв. Самарск. науч. центра РАН. 2012. Т. 14. № 5–3. С. 845.
24. Ермолаева В.А., Поликарпова Д.М. // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 5–2. С. 73.
25. Kurooka J. // Environment Protect. Eng. 2011. Vol. 37. N 1. P. 13.
26. Рогожников Д.А., Карелов С.В., Мамяченков С.В., Анисимова О.С. // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6. С. 81.
27. Мищенко А.В., Кузнецов С.И. // Вестн. Херсонск. нац. техн. унив. 2018. № 2 (65). С. 35.
28. Стрелкова А.В., Пыжов А.М., Анисимов А.С. // Изв. Самарск. науч. центра РАН. 2013. Т. 15. № 3–6. С. 1969.
29. Erme K., Jõgi I. // Environ. Sci. Technol. 2019. Vol. 53. N 9. P. 5266. doi 10.1021/acs.est.8b07307
30. Marutheeswaran S., Mishra B.S., Roy C.S., Nanda B.R.K. // J. Phys. Chem. (C). 2020. Vol. 124. N 16. P. 8786. doi 10.1021/acs.jpcc.0c00525
31. Erme K., Raud J., Jõgi I. // Langmuir. 2018. Vol. 34. N 22. P. 6338. doi 10.1021/acs.langmuir.7b03864
32. Флисюк О.М., Новикова Д.А., Марцулевич Н.А., Панасенко С.А. // Изв. вузов. Сер. хим. и хим. технол. 2019. Т. 62. Вып. 11. С. 150. doi 10.6060/ivkkt.20196211.6015

Sorption of Nitric Oxides from Exhaust Nitrous Gases Using Different Reagents

D. A. Novikova*, O. M. Flisyuk, N. A. Martsulevich, and A. V. Garabadzhiu

St. Petersburg State Institute of Technology, St. Petersburg, 190013 Russia

**e-mail: darjanvk@mail.ru*

Received May 14, 2021; revised May 14, 2021; accepted May 29, 2021

The review of the main sources of emissions of industrial nitrogen oxides is carried out. The negative influence exerted by them on the environment and the organism is considered. The existing methods of utilization of nitrous oxides are studied, their characteristics are given, advantages and disadvantages are revealed. A promising method for the absorption of nitrogen monoxide by a sorbent based on manganese dioxide with the possibility of regeneration of the sorbent is presented. The possibility of the subsequent use of absorption products for industrial purposes is shown.

Keywords: nitrogen monoxide, nitrogen dioxide, sources of gas emissions, removal of harmful gases