

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

DOI: 10.15593/2224-9400/2020.4.10

УДК 544.478-03

П.П. Бушков, А.Р. Кобелева, Е.О. Кузина

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Процессы химической технологии часто проводятся в условиях гетерогенного катализа. Одним из перспективных путей совершенствования катализаторов является разработка его комплексного химического состава.

Большое внимание каталитическим процессам уделяется в области нейтрализации промышленных газов.

Катализаторами для нейтрализации газов часто выступают металлы и оксиды металлов, а также смеси из различных оксидов металлов и неметаллов. Данные катализаторы могут использоваться как и в чистом виде, так и нанесенными на различные пористые носители.

Широкое применение в данной сфере нашли катализаторы на основе оксида марганца (IV). Главным активным компонентом в этих смесях является γ -MnO₂. Другие компоненты, добавляемые в катализатор, позволяют улучшить активность двуокиси марганца, способствовать уменьшению либо предотвращению отравляющего воздействия влаги и других каталитических ядов.

Для получения активной γ -MnO₂ используют различные методы, однако катализатор односложного состава не отвечает требованиям по активности и другим характеристикам.

В настоящее время проводятся работы по разработке марганцевых катализаторов различного сложного химического состава, который бы не подвергался отравлению водяным паром, обладал высокой удельной поверхностью и активностью, имел довольно большую механическую прочность и прочность на истирание, а также был устойчив к перегревам и работал в широком диапазоне температур.

В качестве модифицирующих добавок предлагается использовать металлы и их оксиды в зависимости от назначения каталитического процесса.

Каждый новый вводимый в состав марганцевого катализатора компонент формирует новые улучшенные эксплуатационные характеристики готового катализатора.

Ключевые слова: марганец, оксид марганца, марганецсодержащий катализатор, гетерогенный катализ, активность, каталитические яды, состав катализаторов.

P.P. Bushkov, A.R. Kobeleva, E.O. Kuzina

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

METHODS OF IMPROVING MANGANESE-CONTAINING CATALYSTS

Chemical engineering processes are often carried out under heterogeneous catalysis conditions. One of the promising ways to improve catalysts is to develop its complex chemical composition.

Great attention is paid to catalytic processes in the field of neutralization of industrial gases.

Catalysts for neutralization of gases are often metals and metal oxides, as well as mixtures of various metal oxides and non-metals. These catalysts can be used either in pure form or applied to various porous substrates.

Catalysts based on manganese (IV) oxide have found wide application in this field. The main active component in these mixtures is $\gamma\text{-MnO}_2$. Other components added to the catalyst can improve the activity of manganese dioxide, help reduce or prevent the toxic effects of moisture and other catalytic poisons.

Various methods are used to obtain active $\gamma\text{-MnO}_2$, but the monosyllabic catalyst does not meet the requirements for activity and other characteristics.

Currently, work is underway to develop manganese catalysts of various complex chemical compositions that would not be exposed to water vapor poisoning, have a high specific surface area and activity, have a fairly high mechanical strength and abrasion resistance, and also be resistant to overheating and work in a wide temperature range.

It is proposed to use metals and their oxides as modifying additives depending on the purpose of the catalytic process.

Each new component introduced into the manganese catalyst composition generates new improved performance characteristics of the finished catalyst.

Keywords: *manganese, manganese oxide, manganese-containing catalyst, heterogeneous catalysis, activity, catalytic poisons, composition of catalysts.*

В эпоху развития и совершенствования химической промышленности применение катализа и катализаторов играет значительную роль во многих химических процессах.

Технология катализаторов развивается по пути разработки многокомпонентных составов катализаторов и адсорбентов. Такое развитие позволяет улучшать характеристики катализаторов: активность, селективность, механическую прочность, универсальность.

Химический состав катализаторов может представлять собой композицию из металлов и неметаллов, их оксидов. Катализаторы могут быть порошкообразными или нанесенными различными способами на пористый и инертный носитель или сформованные в гранулы.

В большинстве случаев в составы катализаторов вводятся активирующие добавки, которые улучшают свойства катализаторов, повышают устойчивость к отравляющему воздействию каталитических ядов, позволяют расширить интервал рабочих температур, а также повышают механическую прочность гранул.

Одним из направлений использования многокомпонентных катализаторов являются процессы очистки и нейтрализации газов.

Катализаторы на основе марганца широко используются в процессах нейтрализации газов, содержащих оксиды углерода, аммиак и др.

На данный момент марганецсодержащие катализаторы нашли широкое применение в различных сферах:

- окисление или разложение опасных газов (CO [1–3], NO_x [3]);
- в смеси с перманганатом калия – для разложения перекиси водорода (например, для двигателей космических аппаратов);
- полной очистки воздуха от летучих углеводородов (метана [4], бутана, бензола [2], толуола, фенола, стирола, этилацетата, бутанола, этилбензола, бутилацетата, изопропилового спирта) и других органических веществ;
- хемосорбенты для очистки газов от соединений серы;
- катализаторы химических реакций: гидрогенизации пиридина, окисления аммиака, окисление метана, окисление парафинов, вулканизация тиоколовых герметиков и др. [5];
- катализаторы очистки сточных вод [6];
- восстановление кислорода [7];
- электрокаталитические процессы окисления органических веществ [8].

Одним из главных компонентов марганец-оксидных катализаторов является оксид марганца (IV) MnO_2 . Различают несколько модификаций двуокиси марганца, отличающихся физико-химическими свойствами: на данный момент доказано существование α , β , δ и трех форм γ -модификаций MnO_2 . В действительности отдельными модификациями являются лишь две: β - и γ - MnO_2 . Активная двуокись марганца представлена γ -модификацией. Кроме того, на активность катализатора на основе оксида марганца также оказывает влияние способ его получения [9].

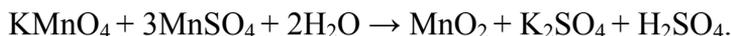
На мировом рынке представлены следующие марки двуокиси марганца кристаллической γ -модификации [10]:

- электролитическая двуокись марганца (ЭДМ);
- химическая или синтетическая двуокись марганца (ХДМ);
- активная или активированная двуокись марганца (АДМ).

Существуют следующие способы образования активной двуокиси марганца [1–12]:

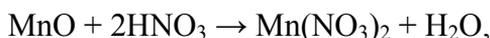
1. Химическое осаждение из растворов.

При взаимодействии перманганата калия с солями Mn^{2+} :



2. Термическое разложение нитратов марганца.

Данная технология осуществляется в несколько стадий, сопровождаемых протеканием следующих химических реакций:



3. Электролитический синтез.

Процесс получения происходит через реакцию электролиза раствора сульфата марганца (II):



4. Активация пиролюзита или неактивного диоксида марганца закаливанием.

Основные промышленные объемы производства диоксида марганца относятся к электролитическому способу.

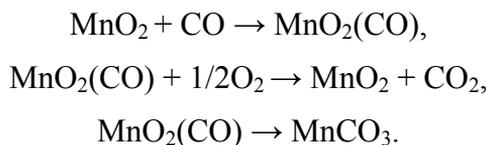
Технология многокомпонентных марганецсодержащих катализаторов в общем можно представить следующим образом: получение активной формы марганца или его оксида, смешения с другими активными компонентами катализатора и формование гранул [1].

Несмотря на преимущества катализатора на основе диоксида марганца, он обладает существенными недостатками. Один из них – отравление водяными парами вследствие образования водяной пленки во время капиллярной конденсации воды на активной поверхности катализатора [13].

Другими каталитическими ядами для марганцевого катализатора являются многие органические соединения, например фенол [14].

К сложности использования марганецсодержащих катализаторов относится также невозможность точного предсказания механизма его каталитического действия, поскольку на поверхности катализатора возможно протекание адсорбции реагирующих веществ через образование предсорбционного состояния, которое в дальнейшем может способствовать ходу процесса катализа или воспрепятствовать ему. Например, при окислении угарного газа на катализаторе, содержащем

MnO_2 , происходит образование предсорбционного состояния $\text{MnO}_2(\text{CO})$, которое далее участвует в образовании продукта CO_2 либо ведет к прочной хемосорбции с образованием поверхностного карбоната MnCO_3 , отравляющего катализатор [15, 16]. Схема реакций процессов, которые при этом протекают, следующая:



К механическим недостаткам марганецсодержащих катализаторов относятся невысокие значения термостойкости, низкая прочность гранул, получаемых экструзией, относительно низкая удельная поверхность, ограниченный температурный интервал работы.

На основе данных научной и патентной литературы были выявлены основные пути развития технологии марганецсодержащих катализаторов: разработка принципиально новых способов получения марганцевых катализаторов, разработка и совершенствование метода формования гранул, корректировка сложного композиционного состава катализатора и его модификации. Любой из предлагаемых методов совершенствования технологии должен учитывать возможность образования и действия активных центров в условиях катализа.

Проблема отравления катализаторов водяным паром и водой является актуальной для многих оксидных катализаторов. Известно, что остаточная влажность оказывает существенное влияние на практическое применение катализаторов. Сочетание высокой температуры и влажной атмосферы серьезно ухудшает эксплуатационные характеристики некоторых катализаторов.

Для решения этой проблемы марганецсодержащих катализаторов предложено в состав катализаторов вводить, например, соединения олова [17]. В результате этого изменяется морфология сложного катализатора в связи с образованием активных комплексов $\text{SnO}_2\text{-CuMnO}_x\text{-В}$ и $\text{SnO}_2\text{-CuMnO}_x\text{-С}$. При этом изменяется морфология образующихся кристаллитов металлов, что связывают с сильной агрегацией исходных частиц. При этом модифицированные образцы демонстрируют, что они имеют неупорядоченную упаковку, что может создать большое количество мезопористых частиц, позволяющих удалить термообработкой молекулы воды, захваченные в результате получения активных оксидов металлов. Эффективность этого предложения оценивали на

процессе низкотемпературного окисления СО. Выявлено, что при добавлении в состав катализатора диоксида олова 8,5 мас.% SnO_2 значительно повышает активность катализатора. На рис. 1 представлены снимки образцов катализаторов, модифицированных оксидом олова в сравнении с традиционным составом катализатора окисления СО.

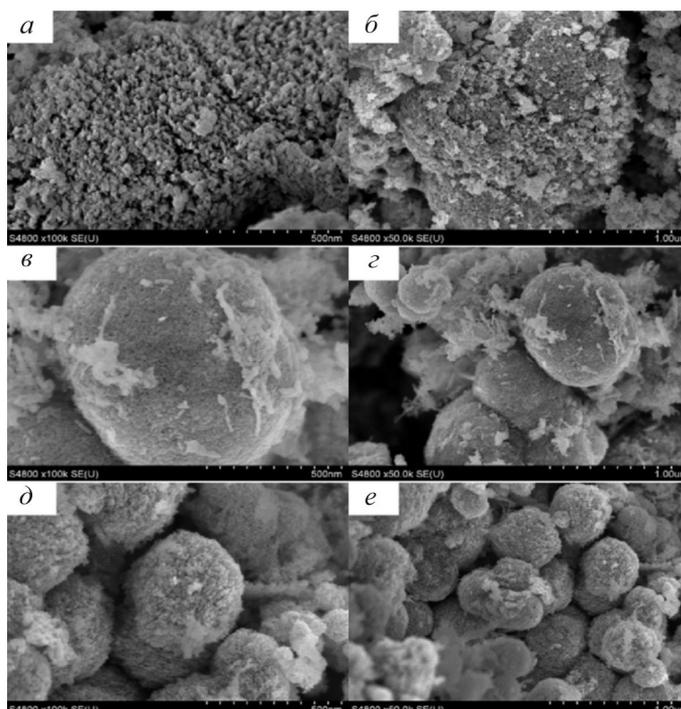


Рис. 1. Снимки образцов катализаторов, сделанные с помощью сканирующего электронного микроскопа: *a, б* – CuMnO_x ; *в, з* – $\text{SnO}_2\text{-CuMnO}_x\text{-B}$; *д, е* – $\text{SnO}_2\text{-CuMnO}_x\text{-C}$

Для увеличения активности катализатора авторами [18] предлагается использовать оксиды металлов, такие как CeO_2 , Co_3O_4 , Ag_2O и SnO_2 . Добавление этих оксидов металлов в катализаторы, включающие диоксид марганца, способствует повышению подвижности кислорода или увеличению количества активных форм кислорода, что благоприятно сказывается на повышении активности окисления СО.

Например, авторы [18] предлагают использовать комплексный катализатор для окисления СО и сорбции CO_2 , включающий оксиды меди, марганца и церия, а также гидроксид калия. Катализатор указанного состава может быть хорошей альтернативой для комплексной борьбы с загрязнением воздуха в замкнутом пространстве, например на подводных лодках и космических аппаратах, и широко использо-

ваться в очистке промышленных загрязнений, сокращении выбросов автомобилей и очистке водорода.

При использовании марганецсодержащих катализаторов в процессах гетерогенного окисления необходимо строго соблюдать температурный интервал эксплуатации. Установлено, что перегрев на 50–100 °С выше регламентированной температуры процесса может привести к необратимой потере активности. Чувствительность катализаторов к воздействию высоких температур связана с рядом различных явлений. Например, повышение температуры и приближение ее к температуре плавления материала приводит к спеканию всей массы катализатора или носителя, приводящему к уменьшению поверхности катализатора или носителя и их активности.

В экзотермических реакциях в связи с выделением большого количества теплоты может происходить рекристаллизация и дезактивация катализатора. Для предотвращения рекристаллизации катализатор наносят на термостойкие носители, а также используют носители с высокими коэффициентами теплопроводности для устранения местных перегревов. В отдельных случаях в состав катализаторов вводят добавки, предотвращающие рекристаллизацию вследствие разъединения кристаллов катализатора [19].

Во избежание отравляющего действия паров воды можно также использовать гидрофобный носитель, а для повышения активности катализатора – добавки в виде металлов Co и Pd [21]. Удельная поверхность таких образцов составляет 110–121 м²/г.

Высокие значения активности катализатора предлагаемого состава обуславливаются наличием на его поверхности палладия в двух состояниях: окисленном (фаза взаимодействия) и металлическом (кластеры Pd), присутствующем преимущественно в матрице MnO₂. При наличии паров воды происходит формирование ОН-групп, которые взаимодействуют с СО, что способствует образованию поверхностных формиатов, способных в присутствии благородных металлов разлагаться с выделением СО₂ + Н₂ или СО₂ и поверхностного водорода. В соответствии с этим наличие водорода, с одной стороны, способствует восстановлению катализатора, а с другой – препятствует окислению металлических кластеров палладия [21].

На рис. 2 представлены снимки катализатора сложного состава. Частицы палладия имеют изометрическую форму, расположены в крупных порах диоксида марганца и контактируют с игольчатыми частицами MnO₂. Наблюдается образование кристаллических блоков, хотя количество межблочных границ невелико.

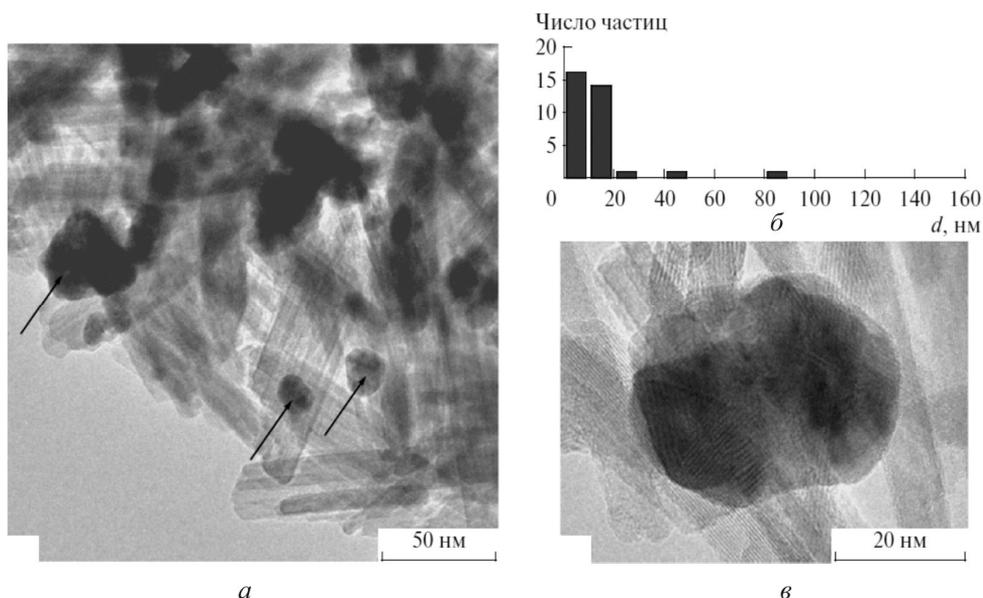


Рис. 2. Снимки и распределение частиц палладия по размерам в образце (Mn,Pd)O₂: *a* – частицы Pd на поверхности MnO₂; *б* – распределение частиц Pd по размерам; *в* – частицы Pd блочной структуры

Для систематизации материалов по технологии марганецсодержащих катализаторов на основе вышеприведенных данных составлена сводная таблица, объединяющая способы модернизации состава катализаторов, описание каталитического влияния, температурный интервал работы.

Влияние добавок на катализатор

Состав катализатора	Содержание добавки, % мас.	Основное действие модифицирующей добавки	Температурный интервал работы катализатора, °С
MnO ₂	–	–	20–130
MnO ₂ + SnO ₂	8,5	Подавление адсорбции молекул воды; повышение активных центров Cu ²⁺	20–200
MnO ₂ + KOH	7–10	Поглощение выделяющегося CO ₂	20–150
MnO ₂ + CeO ₂	25–33,3	Повышение количества поверхностного кислорода	20–600
MnO ₂ + Co, Pd	1,3–7,1	Активация поверхностного кислорода	20–160

В данной статье были рассмотрены способы улучшения параметров марганецсодержащего катализатора за счет изменения его химиче-

ского состава путем модифицирования различными добавками на основании обзора научной литературы.

Выбор и обоснование сложного состава проводится в зависимости от процесса, применительно к которому используется катализатор и условий проведения процесса.

Для рекомендаций к совершенствованию технологии марганецсодержащих катализаторов и расширению области их использования необходимо проводить дальнейшие исследования теоретического и практического характера.

Список литературы

1. Ветошкин А.Г. Основы инженерной защиты окружающей среды: учеб. пособие – М.: Инфра-Инженерия, 2019. – 460 с.

2. Кудрявцев А.А., Круглова М.А. Разработка термостабильных Mn-содержащих катализаторов для процессов очистки выхлопных газов от органических примесей // Успехи в химии и химической технологии. – 2011. – № 2. – С. 15–18.

3. Высокоэффективные оксидомарганцевые катализаторы реакции окисления СО / Н.Д. Иванова, С.В. Иванов, Е.И. Болдырев, И.С. Макеева // Журнал прикладной химии. – 2002. – № 9. – С. 1452–1455.

4. Медь- и марганецсодержащие катализаторы на основе благородных металлов для окисления монооксида углерода и летучих органических соединений: пат. 2532549 Рос. Федерация, МПК В01J 23/889, В01J 35/04, В01D 53/00, В01J 23/00 / Чен Х., Рейнинг А.Дж., Андерсен П.Дж. – № 2011147128/04; заявл. 14.04.2010; опубл. 10.11.2014; Бюл. №31. – 19 с.

5. Колесников И.М. Катализ в газонефтяной отрасли. Теория и практика: учебное пособие – М.: Нефть и газ, 2012. – 471 с.

6. Способ биокаталитической очистки сточных вод (варианты): пат. 2532549 Рос. Федерация, МПК В01J 23/889, В01J 35/04, В01D 53/00, В01J 23/00 / Кочеткова Р.П., Кочетков А.Ю., Коваленко Н.А. – № 2002116855/15; заявл. 21.06.2002; опубл. 10.08.2005; Бюл. №22. – 25 с.

7. Chou S., Cheng F., Chen J. Electrodeposition synthesis and electrochemical properties of nanostructured γ -MnO₂ films // Journal of Power Sources. – 2006. – Vol. 162(1). – P. 727–734. DOI: org/10.1016/j.jpowsour.2006.06.033

8. Suib S.L. Sorption, catalysis, separation design // Chemical Innovation. – 2000. – Vol. 30 – P. 27–33.

9. Способ получения диоксида марганца гамма-модификации: пат. 2149832 Рос. Федерация, МПК С01G 45/02 / Кононов Ю.С., Жижаев А.М., Патрушев В.В., Холмогоров А.Г., Кулебакин В.Г., Пашков Г.Л. – № 97121784/12; заявл. 16.12.1997; опубл. 27.05.2000; Бюл. № 15. – 5 с.

10. Крылов О.В. Гетерогенный катализ: учеб. пособие. – М.: Академкнига, 2004. – 679 с.

11. Карякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические вещества. – М.: Химия, 1974. – 408 с.
12. Сибаров Д.А., Смирнова Д.А. Катализ, каталитические процессы и реакторы: учеб. пособие. – М.: Лань, 2018. – 200 с.
13. Семенова Т.А., Лейтес И.Л. Очистка технологических газов. – М.: Химия, 1977. – 487 с.
14. Тимонин А.С., Ветошкин А.Г. Инженерно-экологический справочник: в 3 т. – Т. 1. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 917 с.
15. Крылов О.В. Углекислотная конверсия метана в синтез-газ // Российский химический журнал. – 2000. – № 1. – С. 19–33.
16. Ещенко Л.С. Технология катализаторов и адсорбентов: тексты лекций. – Минск: Изд-во БГТУ, 2015. – 167 с.
17. Modifying Hopcalite catalyst by SnO₂ addition: An effective way to improve its moisture tolerance and activity for low temperature CO oxidation / L. Yang, G. Yao, P. Honggen, X. Xianglan, W. Yuanyuan, P. Cheng, Z. Ning, W. Xiang // Applied Catalysis A: General. – 2016. – Vol. 525. – P. 204–214. DOI: org/10.1016/j.apcata.2016.07.023
18. Cu-Mn-Ce ternary oxide catalyst coupled with KOH sorbent for air pollution control in confined space / J. Lin, Q. Li, S. Lu, X. Chen, K. M. Liew // Journal of Hazardous Materials – 2020. – Vol. 389. – P. 1–11. DOI: org/10.1016/j.jhazmat.2019.121946
19. Технология катализаторов: учеб. пособие / В.А. Таранушич, А.П. Савостьянов, С.И. Сулима, Н.Д. Земляков. – Новочеркасск: Изд-во ЮРГПУ (НПИ), 2012. – 216 с.
20. Cu-Mn-Ce mixed oxides catalysts for soot oxidation and their mechanistic chemistry / S. Ali, X. Wu, Z. Zuhra, Y. Ma, Y. Abbas, B. Jin, R. Ran, D. Weng // Applied Surface Science – 2020. – Vol. 512. – P. 1–9. DOI: org/10.1016/j.apsusc.2020.145602
21. Низкотемпературное окисление монооксида углерода на катализаторах (Mn_{1-x}M_x)O₂ (M = Co, Pd) / И.Г. Данилова, В.И. Зайковский, А.С. Иванова, С.В. Цыбуля, А.И. Боронин, Е.М. Славинская, О.А. Стонкус, Р.В. Гуляев, О.А. Булавченко // Кинетика и катализ. – 2013. – № 1. – С. 85–99. DOI: 10.7868/S0453881113010085

References

1. Vetoshkin A.G. Osnovy inzhenernoi zashchity okruzhaiushchei sredy [Fundamentals of engineering protection of the environment]. Moscow, Infra-Inzheneriia, 2019, 460 p.
2. Kudriavtsev A.A., Kruglova M.A. Razrabotka termostabil'nykh Mn-soderzhashchikh katalizatorov dlia protsessov ochistki vykhlopnykh gazov ot organicheskikh primesei [Development of thermostable Mn-containing catalysts for the processes of cleaning exhaust gases from organic impurities]. *Advances in chemistry and chemical technology*, 2011, no. 2, pp. 15–18.
3. Ivanova N.D., Ivanov S.V., Boldyrev E.I., Makeeva I.S. Vysokoeffektivnye oksidnomargantsevye katalizatory reaktsii okisleniia CO [Highly efficient

manganese oxide catalysts for the CO oxidation]. *Journal of Applied Chemistry*, 2002, no. 9, pp. 1452 – 1455.

4. Chen Khai-ling, Reining Artur Dzh., Andersen Pol Dzh. Med'- i marganets sodержashchie katalizatory na osnove neblagorodnykh metallov dlia okisleniia monooksida ugleroda i letuchikh organicheskikh soedinenii [Copper and manganese base metal catalysts for the oxidation of carbon monoxide and volatile organic compounds]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2011147128/04 (2014).

5. Kolesnikov I.M. Kataliz v gazoneftianoj otrasli. Teoriia i praktika [Catalysis in the gas and oil industry. Theory and practice]. Moscow, Neft' i gaz, 2012, 471 p.

6. Kochetkova R.P., Kochetkov A.Iu., Kovalenko N.A. Sposob biokataliticheskoj ochistki stochnykh vod [Method of biocatalytic wastewater treatment]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2002116855/15 (2005).

7. Chou S., Cheng F., Chen J. Electrodeposition synthesis and electrochemical properties of nanostructured γ -MnO₂ films. *Journal of Power Sources*, 2006, vol. 162(1), pp. 727–734. DOI: org/10.1016/j.jpowsour.2006.06.033

8. Suib S. L. Sorption, catalysis, separation design. *Chemical Innovation*, 2000, vol. 30, pp. 27–33.

9. Kononov Iu.S., Zhizhaev A.M., Patrushev V.V Sposob polucheniia dioksida margantsa gamma-modifikatsii [A method of producing manganese dioxide of the gamma-modification] Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 97121784/12 (2000).

10. Krylov O.V. Geterogennyi kataliz [Heterogeneous catalysis]. Moscow, Akademkniga, 2004, 679 p.

11. Kariakin Iu.V., Angelov I.I. Chistye khimicheskie veshchestva [Pure chemicals]. Moscow, Khimiia, 1974, 408 p.

12. Sibarov D.A., Smirnova D.A. Kataliz, kataliticheskie protsessy i reaktory [Catalysis, catalytic processes and reactors]. Moscow, Lan', 2018, 200 p.

13. Semenova T.A., Leites I.L. Ochistka tekhnologicheskikh gazov [Purification of process gases]. Moscow, Khimiia, 1977, 487 p.

14. Timonin A.S., Vetoshkin A.G. Inzhenerno-ekologicheskii spravochnik. Tom 1 [Engineering and environmental handbook. Vol. 1]. Kaluga, Izdatel'stvo N. Bochkarevoi, 2003, 917 p.

15. Krylov O. V. Uglekislotaia konversiiia metana v sintez-gaz [Carbon dioxide conversion of methane to synthesis gas]. *Russian chemical journal*, 2000, no. 1, pp. 19–33.

16. Eshchenko L.S. Tekhnologiia katalizatorov i adsorbentov [Technology of catalysts and adsorbents]. Minsk, Belorusskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet, 2015, 167 p.

17. Yang L., Yao G., Honggen P., Xianglan X., Yuanyuan W., Cheng P., Ning Z., Xiang W. Modifying Hopcalite catalyst by SnO₂ addition: An effective way to improve its moisture tolerance and activity for low temperature CO oxidation. *Applied Catalysis A: General*, 2016, vol. 525, pp. 204–214. DOI: org/10.1016/j.apcata.2016.07.023

18. Lin J., Li Q., Lu S., Chen X., Liew K. M. Cu-Mn-Ce ternary oxide catalyst coupled with KOH sorbent for air pollution control in confined space. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, Vol. 389, pp. 1–11. DOI: org/10.1016/j.jhazmat.2019.121946

19. Taranushich V.A., Savost'ianov A.P., Sulima S.I., Zemliakov N.D. Tekhnologiya katalizatorov [Catalyst technology]. Novocherkassk, Iuzhno-Rossiiskii gosudarstvennyi politekhnicheskii universitet, 2012, 216 p.

20. Ali S., Wu X., Zuhra Z., Ma Y., Abbas Y., Jin B., Ran R., Weng D. Cu-Mn-Ce mixed oxides catalysts for soot oxidation and their mechanistic chemistry. *Applied Surface Science*, 2020, Vol. 512, pp. 1–9. DOI: org/10.1016/j.apsusc.2020.145602

21. Danilova I.G., Zaikovskii V.I., Ivanova A.S., Tsybulia S.V., Boronin A.I., Slavinskaya E.M., Stonkus O.A., Guliaev R.V., Bulavchenko O.A. Nizkotemperaturnoe okislenie monooksida ugleroda na katalizatorakh $(Mn_{1-x}M_x)O_2$ ($M = Co, Pd$) [Low-temperature oxidation of carbon monoxide on catalysts $(Mn_{1-x}M_x)O_2$ ($M = Co, Pd$)]. *Kinetics and catalysis*, 2013, no. 1, pp. 85–99. DOI: 10.7868/S0453881113010085.

Получено 01.11.2020

Об авторах

Бушков Павел Павлович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: pavel.bushkov.97@mail.ru).

Кобелева Асия Рифовна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: ushtf@pstu.ru).

Кузина Евгения Олеговна (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: zena322myname@mail.ru).

About the authors

Pavel P. Bushkov (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student of the Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: pavel.bushkov.97@mail.ru).

Asiya R. Kobeleva (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: ushtf@pstu.ru).

Evgeniia O. Kuzina (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: zena322myname@mail.ru).