

КОЛЛОИДНЫЕ И НАНОРАЗМЕРНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ В ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ: XXI¹. ВОССТАНОВЛЕНИЕ НИТРОАРЕНОВ ПРИ КАТАЛИЗЕ ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ НИКЕЛЯ

© 2019 г. В. М. Мохов, Ю. В. Попов*, Д. Н. Небыков, Е. В. Нищик,
К. В. Щербакова, Ю. Л. Зотов

Волгоградский государственный технический университет, пр. Ленина 28, Волгоград, 400131 Россия
*e-mail: tons@vstu.ru

Поступило в Редакцию 12 марта 2019 г.

После доработки 12 марта 2019 г.

Принято к печати 14 марта 2019 г.

Установлено, что наночастицы никеля, нанесенные на цеолит NaX, γ -оксид алюминия, активированный уголь или оксид магния катализируют процесс восстановления нитробензола и его гомологов с высокими выходами анилина и его производных. Исследовано влияние подложки на проведение данных процессов в непрерывном реакторе при атмосферном давлении водорода. Использование в качестве носителя активированного угля или оксида магния позволяет проводить реакцию при 80–100°C.

Ключевые слова: катализ, наночастицы, никель, восстановление, нитроарены, анилин

DOI: 10.1134/S0044460X19080018

Основным способом получения анилина и его C-замещенных гомологов, широко применяемых в производстве красителей, полиуретанов и фармакологических препаратов [2–6], является гидрирование нитробензола в газовой или жидкой фазе. Большинство промышленных способов получения предполагает применение жестких условий – высоких давлений или температур.

Селективное восстановление нитроаренов в производные анилина достигалось при катализе рядом металлических катализаторов, таких как Au/TiO₂ [7] палладий или платина на угле [8–10], двуокись платины [11], никель Ренея [12] или Ni/TiO₂ [13]. В качестве катализаторов гидрирования используются и сульфид никеля при 250–350°C [14].

В качестве катализаторов гидрирования нитробензола применялись наночастицы никеля, нанесенные на поверхность ZrO₂ или TiO₂ мето-

дом восстановления адсорбированных солей гидразингидратом. Содержание никеля в составе катализатора составляло около 5%, размер частиц никеля – 2–8 нм. Катализатор Ni/TiO₂ показал высокую активность (конверсия до 99% при высокой селективности) [15], в то время как Ni/ZrO₂ дезактивировался при 250°C и длительной работе. Для газофазного гидрирования нитробензола применялись также Ru/SBA15 (275°C, конверсия 94%, селективность 100%) [16], Pd на гидротальките (225°C, конверсия 99%, селективность 100%) [17], Ni/SBA-15 (250°C, конверсия 97%, селективность 100%) [18], Cu/MgO (280°C, конверсия 94%, селективность 100%) [19].

Известно о применении наночастиц никеля в виде коллоидных растворов в качестве катализатора восстановления нитрогруппы нитроаренов. Так, нитробензол и его замещенные производные восстанавливаются в соответствующие замещен-

¹ Сообщение XX см. [1].

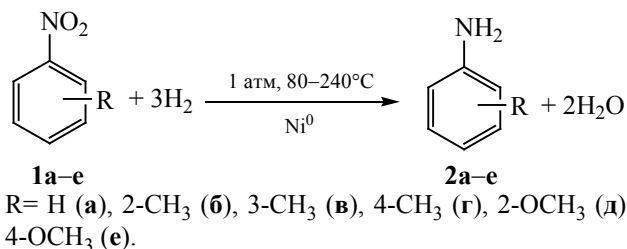
ные анилины при катализе наночастицами никеля, полученными восстановлением солей Ni(II) гидразингидратом [20]. Гидрирование 4-нитрофенола водородом также осуществлялось коллоидными наночастицами никеля в автоклаве водородом при 100°C и 8 атм [21]. Обнаружена зависимость активности катализатора от размеров наночастиц никеля, в свою очередь, определяемых применяемым растворителем. Так, при уменьшении размеров частиц с 300 до 60 нм конверсия нитробензола за время реакции 2 ч повышается с 14 до 80%. Показано, что наночастицы никеля по сравнению с никелем Ренея дают конверсию нитробензола в 8 раз больше при идентичных условиях процесса. Наночастицы никеля размерами около 4 нм, нанесенные на силикагель катализируют восстановление нитробензола при 90°C и 10 атм водорода с конверсией 100% и селективностью по анилину 99% [22].

Широкие исследования проведены в области катализа восстановления нитроаренов ферромагнитными нанокатализаторами [23]. В частности, приводятся сведения об использовании наночастиц палладия (3 нм), нанесенных на Fe₃O₄ (11 нм) для гидрирования нитробензола водородом при 1 атм и комнатной температуре [24]. Катализатор использовался многократно без потери активности.

Предыдущими исследованиями показано, что нанесенные на подложку наночастицы никеля показали высокую каталитическую активность в ряде реакций гидрирования при атмосферном давлении водорода [25, 26]. Целью настоящей работы являлось изучение процесса восстановления нитроаренов при атмосферном давлении водорода в реакторе проточного типа на субмикро- и наночастицах никеля, иммобилизованных на разных носителях: цеолите NaX, γ -оксиде алюминия, активированном угле, оксиде магния.

Катализаторы получали пропиткой носителей (фракция 1–1.5 мм) водным раствором гексагидрата хлорида никеля(II) в течение суток, фильтровании и последующей обработкой раствором тетрагидробората натрия в воде при комнатной температуре. Катализатор загружали во влажном виде в реактор и сушили от воды в токе водорода непосредственно перед реакцией. Размеры частиц никеля на поверхности составляли 40–120 нм [27].

Схема 1.

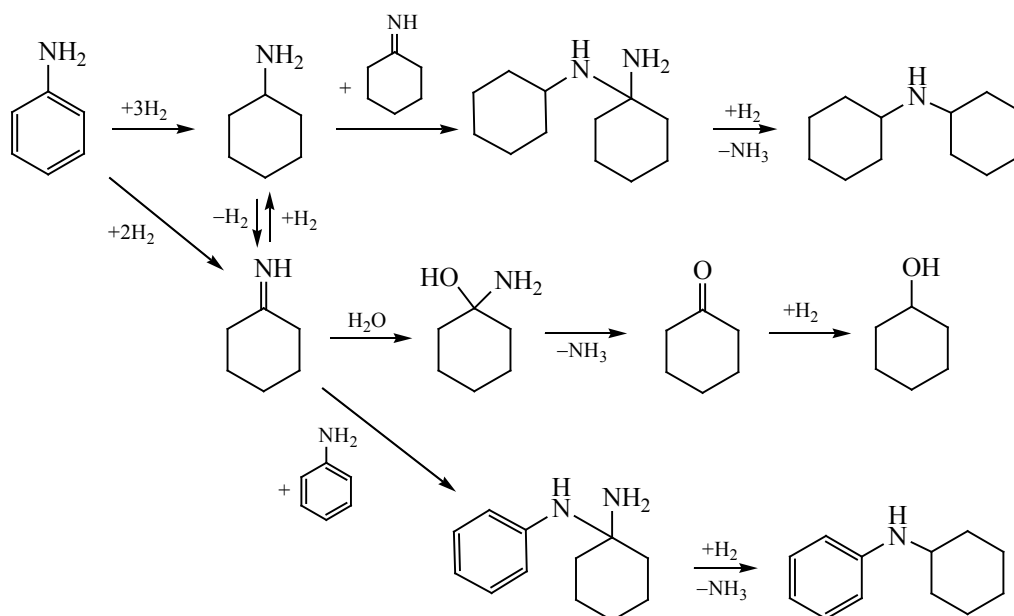


Нитроарены **1a–e** восстанавливали в интервале температур 160–240°C на наночастицах никеля, нанесенных на цеолит NaX при удельном расходе исходного вещества 0.6 или 0.9 л/(кг_{кат}·ч) в зависимости от взятого количества катализатора и удельном расходе водорода 300–1700 л/(кг_{кат}·ч) (схема 1). Выходы продуктов составляли 91–100%, основными примесями являлись исходные нитроарены.

На примере 2-нитротолуола **1б** было рассмотрено влияние температуры на конверсию исходного нитроарена и выход 2-метиланилина **2б**. В интервале 160–240°C выход соединения **2б** уменьшается с 99.9 до 97.2% вследствие появления продуктов побочной реакции при повышенных температурах выше 180°C. При понижении температуры от 140 до 100°C конверсия исходного нитроарена **1б** и выход 2-метиланилина **2б** снижаются с 82.2 до 29.5% при селективности синтеза 100%. Для 3-нитротолуола **1в** выход соединения **2в** снижается с 99.3 до 98.4% при понижении температуры от 240 до 200°C.

Влияние носителя на выход продукта было рассмотрено на примере восстановления нитробензола. Установлено, что все катализаторы проявляют высокую каталитическую активность при удельном расходе нитробензола 0.6 л/(кг_{кат}·ч) и удельном расходе водорода 1330 л/(кг_{кат}·ч) при мольном соотношении водород:нитробензол = (10–15):1 в температурном интервале 140–200°C, при этом конверсия нитробензола **1а** составляет 100%. Однако при использовании в качестве носителя цеолита NaX при температурах ниже 180°C активность частиц никеля сильно снижается, при этом наблюдается быстрая дезактивация катализатора. При прекращении подачи сырья и продувке реактора водородом при 240°C в течение 30 мин катализатор полностью восстанавливает свои свойства.

Схема 2.



При использовании слабокислых или основных носителей активность катализатора при понижении температуры сохранялась. Так, наночастицы никеля, нанесенные на прессованный порошок оксида магния восстанавливают нитроарен **1a** при температурах 100–120°C. Однако их активность в данном температурном интервале в течение 1 ч непрерывной работы также снижается, что, по-видимому, связано с сильными адсорбционными свойствами нитробензола, тормозящими процесс его восстановления водородом при данных температурах. Активность катализатора восстанавливается при повышении температуры до 180–200°C и продувке водородом (деблокируются активные центры катализатора), при этом десорбируется до 2.5 г смеси соединений **1a** и **2a** с 3 г катализатора.

С целью увеличения срока активности катализатора при 100–120°C нитроарен **1a** был разбавлен инертным разбавителем (толуолом), что позволило равномерно распределить молекулы нитроарена и толуола по поверхности катализатора. При этом толуол, как более летучий компонент, легче десорбируется с поверхности катализатора, освобождая активные центры для адсорбции молекул водорода, что способствует протеканию процесса восстановления нитроарена **1a**. Установлено, что разбавление в соотношении нитробензол–толуол, равном 1:5, позволяет получать анилин с количе-

ственным выходом при 120–180°C, при этом активность катализатора не снижается в течение 10 ч непрерывной работы. В интервале 80–100°C данный катализатор также активен и позволяет восстанавливать нитробензол с конверсией 94–96%.

Частицы никеля, нанесенные на активированный уголь Norit RX 3 EXTRA, также как при нанесении на оксид магния, проявляют высокую активность в широком интервале температур (80–240°C), при этом наблюдается полная конверсия нитробензола. В отличие от оксида магния в интервале 80–140°C не наблюдается диффузионных или адсорбционных затруднений работы катализатора, и разбавления нитробензола не требуется. Однако данный катализатор проявляет невысокую селективность по целевому анилину. Так, при 200°C в реакционной смеси, согласно данным газожидкостной хроматографии (ГЖХ) и хромато-масс спектрометрии, присутствует анилин (91.3 мас%), циклогексиламин (1 мас%), циклогексанон (1.6 мас%), циклогексанол (0.4 мас%), фенилциклогексиламин (2 мас%) и дициклогексиламин (3.7 мас%). При повышении температуры до 300°C доля высококипящих побочных продуктов увеличивается до 20 мас%. Установлено, что неполной селективности не удается избежать и при 80–100°C, когда содержание анилина достигает 93 мас%, но присутствуют и производные циклогексана.

Образование побочных продуктов (суммарно 1–9 мас%) обнаружено и при использовании в качестве носителей цеолита NaX, и γ -Al₂O₃. С другой стороны, применение в качестве носителя оксида магния позволяет получать анилин с селективностью до 100%.

Таким образом, в указанных условиях проходит частичное гидрирование ароматического кольца. Образование циклогексанона можно объяснить гидролизом промежуточного имина (схема 2), а наличие дициклогексиламина – реакцией диспропорционирования циклогексиламина и кросс-сочетания с анилином, что на нанесенных наночастицах никеля было изучено ранее [28].

Следует отметить, что промышленные катализаторы, такие как НТК-4 и ЛОК, обладают удельной производительностью 0.24 кг_{нб}/(кг_{кат}·ч) (нб – нитробензол), что ниже, чем использованные в настоящей работе [1.08 кг_{нб}/(кг_{кат}·ч) при использовании неразбавленного нитробензола], что свидетельствует о перспективности исследований по улучшению характеристик исследуемого типа катализаторов.

Таким образом, установлено, что иммобилизованные на оксиде магния, активированном угле, γ -оксиде алюминия или цеолите NaX наночастицы никеля проявляют высокую каталитическую активность в процессах восстановления нитроаренов. На основании полученных экспериментальных данных установлено, что применение в качестве носителя оксида магния позволяет получать анилин с селективностью до 100%, в то время как на носителях цеолит NaX, γ -Al₂O₃, активированный уголь образуется до 20 мас% побочных продуктов гидрирования ароматического кольца.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Хромато-масс-спектральный анализ выполнен на приборе Saturn 2100 T/GC3900 (ЭУ, 70 эВ). Количественный ГЖХ-анализ реакционной массы проводили на хроматографе Кристаллюкс-4000М ($t_{\text{н}} = 100$ – 210°C , $t_{\text{исп}} = 250^\circ\text{C}$, полярная колонка НР-5, $l = 50$ м, $d = 0.32$ мм, газ-носитель – азот, детектор – ПИД, $t_{\text{ПИД}} = 250^\circ\text{C}$, растворитель – ацетонитрил). Сканирующая электронная микроскопия выполнена при помощи прибора FEI Versa 3D DualBeam. Рабочее расстояние – 10 мм, детектор

вторичных электронов – ETD, детектор обратно рассеянных электронов – CBS, метод элементного анализа – EDS.

Приготовление катализатора. Катализатор получали путем пропитки носителя (фракция 1–1.5 мм) водным раствором гексагидрата хлорида никеля(II) в течение суток в соотношении 0.7 г хлорида никеля на 2 г цеолита NaX, 1 г хлорида никеля на 3 г γ -Al₂O₃ цеолита NaX или C_{акт}, 3 г хлорида никеля на 3 г MgO. Пропитанный носитель фильтровали и промывали дистиллированной водой с последующей обработкой раствором тетрагидробората натрия в воде (3×0.1 г) при комнатной температуре. Восстановление каждой порцией проводили в течение 2 мин. Восстановленный катализатор загружали в реактор во влажном виде, осушали от воды в токе водорода при 300°C непосредственно перед реакцией.

Общая методика проведения реакции. Реакцию проводили в реакторе вытеснения при атмосферном давлении и температуре 80–240°C. В этом температурном интервале реакция может осуществляться как в газовой фазе, так и в системе газ–жидкость–твердый катализатор в зависимости от температуры кипения исходных нитроаренов. Лабораторный реактор представлял собой трубку из стали 12X18Н10Т с внутренним диаметром 9 мм и высотой зоны нагрева 50 мм, помещенный в электрическую печь. Удельная скорость подачи жидкой смеси – 0.6 или 0.9 л/(кг_{кат}·ч) в зависимости от количества катализатора. Расход водорода – 300–1700 л/(кг_{кат}·ч) (10–15-кратный мольный избыток).

Анилин (2а). а. На катализатор Ni/NaX (3 г) подавали водород с расходом 1330 л/(кг_{кат}·ч). Одновременно с водородом прямоточно с ним с расходом 0.6 л/(кг_{кат}·ч) при 200°C подавали нитробензол **1а**. Конверсия 100%, селективность и выход 90.7%. Масс-спектр, m/e ($I_{\text{отн}}$, %): 93.9 (13) [$M + 1$]⁺, 93.0 (100) [M]⁺, 92.0 (9), 66.0 (35), 65.0 (20), 63.0 (5).

б. На катализатор Ni/C_{акт} (3 г) подавали водород с расходом 1330 л/(кг_{кат}·ч). Одновременно подавали нитробензол **1а** с расходом 0.6 л/(кг_{кат}·ч) при 200°C. Конверсия 100%, селективность и выход 91.3%.

в. Проводили аналогично на катализаторе Ni/ γ -Al₂O₃ (3 г). Конверсия 100%, селективность и выход 80.0%.

з. Проводили аналогично на катализаторе Ni/MgO (3 г) при 140°C. Конверсия 100%, селективность и выход 99.4%.

2-Метиланилин (2б). На катализатор Ni/NaX (2 г) подавали водород с расходом 1700 л/(кг_{кат}·ч). Одновременно с водородом прямоточно с ним с расходом 0.9 л/(кг_{кат}·ч) подавали 2-нитротолуол **1б** при 200°C. Конверсия 99.9%, селективность 99.5%, выход 99.4%. Масс-спектр, m/e ($I_{\text{отн}}$, %): 108.0 (6) [M + 2]⁺, 107.0 (78) [M + 1]⁺, 106.0 (100) [M]⁺, 89.0 (7), 79.0 (12), 78.0 (6), 77.1 (16), 52.0 (7), 51.0 (7).

3-Метиланилин (2в). На катализатор Ni/NaX (3 г) подавали водород с расходом 1130 л/(кг_{кат}·ч). Одновременно с водородом прямоточно с ним с расходом 0.6 л/(кг_{кат}·ч) подавали 3-нитротолуол **1в** при 240°C. Конверсия 100%, селективность и выход 99.3%. Масс-спектр, m/e ($I_{\text{отн}}$, %): 107.9 (7) [M + 2]⁺, 107.0 (69) [M + 1]⁺, 106.0 (100) [M]⁺, 79.0 (17), 77.0 (17), 51.0 (8).

4-Метиланилин (2г). На катализатор Ni/NaX (3 г) подавали водород с расходом 300 л/(кг_{кат}·ч). Одновременно с водородом прямоточно с ним с расходом 0.6 л/(кг_{кат}·ч) подавали смесь 4-нитротолуола **1г** [0.15 моль/(кг_{кат}·ч)] и толуола [0.45 моль/(кг_{кат}·ч)] при 200°C. Конверсия 96.9%, селективность 97.5%, выход 94.5%. Масс-спектр, m/e ($I_{\text{отн}}$, %): 108.0 (6) [M + 2]⁺, 107.0 (83) [M + 1]⁺, 106.0 (100) [M]⁺, 79.0 (11), 78.1 (7), 77.0 (13).

2-Метоксианилин (2д). На катализатор Ni/NaX (3 г) подавали водород с расходом 1100 л/(кг_{кат}·ч). Одновременно с водородом прямоточно с ним с расходом 0.6 л/(кг_{кат}·ч) подавали 2-нитроанизол **2д** при 200°C. Конверсия 100%, селективность и выход 99.3%. Масс-спектр, m/e ($I_{\text{отн}}$, %): 123.9 (15) [M + 1]⁺, 123.0 (76) [M]⁺, 108.0 (88), 80.1 (100), 53.0 (26), 52.1 (13), 51.1 (8).

4-Метоксианилин (2е). На катализатор Ni/NaX (3 г) подавали водород с расходом 1100 л/(кг_{кат}·ч). Одновременно с водородом прямоточно с ним с расходом 0.6 л/(кг_{кат}·ч) подавали смесь 4-нитротолуола **1е** [0.15 моль/(кг_{кат}·ч)] и толуола [0.45 моль/(кг_{кат}·ч)] при 200°C. Конверсия 99.8%,

селективность 97.4%, выход 97.2%. Масс-спектр, m/e ($I_{\text{отн}}$, %): 123.9 (51) [M + 1]⁺, 123.0 (100) [M]⁺, 108.0 (63), 80.1 (66), 53.0 (14).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Понов Ю.В., Мохов В.М., Латышова С.Е., Небыков Д.Н., Панов А.О., Давыдова Т.М.* // ЖОХ. 2018. Т. 88. Вып. 10. С. 1585; *Popov Y.V., Mokhov V.M., Latyshova S.E., Nebykov D.N., Panov A.O., Davydova T.M.* // Russ. J. Gen. Chem. 2018. Vol. 88. N 10. P. 2035. doi 10.1134/S1070363218100018
2. *Dao S., Qian W., Luo G., Wei F., Wang Y.* // Appl. Catal. (A). 2005. Vol. 286. N 1. P. 30. doi 10.1016/j.apcata.2005.02.026
3. *Chary K.V.R., Srikanth C.S.* // Catal. Lett. 2009. Vol. 128. N 1–2. P. 164. doi 10.1007/s10562-008-9720-1
4. *Nieto-Márquez A., Gil S., Romero A., Valverde J.L., Gómez-Quero S., Keane M.A.* // Appl. Catal. (A). 2009. Vol. 363. N 1–2. P. 188. doi 10.1016/j.apcata.2009.05.016
5. *Wang J., Yuan Z., Nie R., Hou Z., Zheng X.* // Ind. Eng. Chem. Res. 2010. Vol. 49. N 10. P. 4664. doi 10.1021/ie1002069
6. *Sangeetha P., Shanthi K., Rama Rao K.S., Viswanathan B., Selvam P.* // Appl. Catal. (A). 2009. Vol. 353. N 2. P. 160. doi 10.1016/j.apcata.2008.10.044
7. *Torres C., Campos C., Fierro J.G., Oportus M., Reyes P.* // Catal. Lett. 2013. Vol. 143. N 8. P. 763. doi 10.1007/s10562-013-1034-2
8. *Takasaki M., Motoyama Y., Higashi K., Yoon S.-H., Mochida I., Nagashima H.* // Org. Lett. 2008. Vol. 10. N 8. P. 1601. doi 10.1021/ol800277a
9. Fine Chemicals through Heterogeneous Catalysis / Eds R.A. Sheldon, H. van Bekkum, Weinheim: Wiley-VCH, 2001. P. 389.
10. *Cardenas-Lizana F., Gomez-Quero S., Keane M.A.* // ChemSusChem. 2008. Vol. 1. P. 215. doi 10.1002/cssc.200700105
11. *Kuhn L.P.* // J. Am. Chem. Soc. 1951. Vol. 73. N 4. P. 1510. doi 10.1021/ja01148a029

12. Allen C.F.H., Van Allan J. // *Org. Synth. Coll.* 1955. Vol. 3. P. 63.
13. Xiong J., Chen J., Zhang J. // *Catal. Commun.* 2007. Vol. 8. N 3. P. 345. doi 10.1016/j.catcom.2006.06.028
14. Winstrom L.O. Pat. US 2822397A (1955).
15. Varkolu M., Velpula V., Pochamoni R., Muppala A.R., Burri D.R., Kamaraju S.R.R. // *Appl. Petrochem. Res.* 2016. Vol. 6. N 1. P. 15. doi 10.1007/s13203-015-0115-0
16. Chary K.V.R., Srikanth C.S. // *Catal. Lett.* 2009. Vol. 128 N 1–2. P. 164. doi 10.1007/s10562-008-9720-1
17. Sangeetha P., Seetharamulu P., Shanthi K., Narayanan S., Rama Rao K.S. // *J. Mol. Catal. (A)*. 2007. Vol. 273. N 1–2. P. 244. doi 10.1016/j.molcata.2007.03.020
18. Mohan V., Pramod C.V., Suresh M., Reddy K.H.P., Raju B.D., Rao K.S.R. // *Catal. Commun.* 2012. Vol. 18. P. 89. doi 10.1016/j.catcom.2011.11.030
19. Hari Prasad Reddy K., Rahul R., Sree Vardhan Reddy S., David Raju B., Rama Rao K.S. // *Catal. Commun.* 2009. Vol. 10. N 6. P. 879. doi 10.1016/j.catcom.2008.12.014
20. Мохов В.М., Попов Ю.В., Небыков Д.Н. // *ЖОХ*. 2014. Т. 84. Вып. 8. С. 1289; Mokhov V.M., Popov Yu.V., Nebykov D.N. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2014. Vol. 84. N 8. P. 1515. doi 10.1134/S107036321408012X
21. Wang A., Yin H., Ren M., Lu H., Xue J., Jiang T. // *New J. Chem.* 2010. Vol. 34. N 4. P. 708. doi 10.1039/b9nj00657e
22. Wang J., Yuan Z., Nie R., Hou Z., Zheng X. // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2010. Vol. 49. N 10. P. 4664. doi 10.1021/ie1002069
23. Shokouhimehr M. // *Catalysts*. 2015. Vol. 5. N 2. P. 534. doi 10.3390/catal5020534
24. Pelisson C.-H., Denicourt-Nowicki A., Meriadec C., Greneche J.-M., Roucoux A. // *ChemCatChem*. 2015. Vol. 7. N 2. P. 309. doi 10.1002/cctc.201402761
25. Попов Ю.В., Мохов В.М., Латышова С.Е., Небыков Д.Н., Панов А.О., Плетнева М.Ю. // *ЖОХ*. 2017. Т. 87. Вып. 10. С. 1616; Popov Yu.V., Mokhov V.M., Latyshova S.E., Nebykov D.N., Panov A.O., Pletneva M.Y. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2017. Vol. 87. N 10. P. 2276. doi 10.1134/S107036321710005X
26. Мохов В.М., Попов Ю.В., Небыков Д.Н. // *ЖОХ*. 2016. Т. 52. Вып. 3. С. 339; Mokhov V.M., Popov Yu.V., Nebykov D.N. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2016. Vol. 53. N 3. P. 319. doi 10.1134/S1070428016030040
27. Попов Ю.В., Мохов В.М., Небыков Д.Н., Латышова С.Е., Панов А.О., Донцова А.А., Ширханян П.М., Щербаклова К.В. // *ЖОХ*. 2016. Т. 86. Вып. 12. С. 1951; Popov Yu.V., Mokhov V.M., Nebykov D.N., Latyshova S.E., Panov A.O., Dontsova A.A., Shirkhanyan P.M., Shcherbakova K.V. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2016. Vol. 86. N 12. P. 2589. doi 10.1134/S1070363216120033
28. Попов Ю.В., Мохов В.М., Латышова С.Е., Небыков Д.Н., Панов А.О., Давыдова Т.М. // *ЖОХ*. 2017. Т. 87. Вып. 12. С. 1937; Popov Yu.V., Mokhov V.M., Latyshova S.E., Nebykov D.N., Panov A.O., Davydova T.M. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2017. Vol. 87. N 12. P. 2757. doi 10.1134/S1070363217120015

Colloid and Nanosized Catalysts in Organic Synthesis: XXI. Reduction of Nitroarenes Catalyzed by Immobilized Nickel Nanoparticles

V. M. Mokhov, Yu. V. Popov*, D. N. Nebykov, E. V. Nishchik,
K. V. Shcherbakova, and Yu. L. Zotov

Volgograd State Technical University, pr. Lenina 28, Volgograd, 400131 Russia

*e-mail: tons@vstu.ru

Received March 12, 2019; revised March 12, 2019; accepted March 14, 2019

It was found that nickel nanoparticles supported on NaX zeolite, γ -alumina, activated carbon or magnesium oxide catalyze the reduction process of nitrobenzene and its homologs with high yields of aniline and its derivatives. The effect of the substrate on carrying out these processes in a continuous reactor at atmospheric hydrogen pressure was investigated. The use of activated carbon or magnesium oxide as a carrier makes it possible to conduct the reaction at 80–100°C.

Keywords: catalysis, nanoparticles, nickel, reduction, nitroarenes, aniline