

УДК 544.47
AGRI P33

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/53/02>

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СИНТЕЗА АНИЛИНА НА Ni-СОДЕРЖАЩЕМ СВЕРХСШИТОМ ПОЛИСТИРОЛЕ

©Мушинский Л. С., ORCID: 0000-0002-0819-6664, SPIN-код: 5679-1478, Тверской
государственный технический университет, г. Тверь, Россия

©Навроцкая И. В., Тверской государственный технический университет,
г. Тверь, Россия

©Бровко Р. В., ORCID: 0000-0001-9945-566X, SPIN-код: 1638-1220, Ивановский химико-
технологический университет, г. Иваново, Россия, romanvictorovich69@mail.ru

©Долуда В. Ю., ORCID: 0000-0002-2865-9945, SPIN-код: 8836-6137, д-р. хим. наук,
Ивановский химико-технологический университет, г. Иваново, Россия, doludav@yandex.ru

STUDY OF NITROBENZENE KINETIC PARTICULARITIES OVER Ni-CONTAINING HYPERCROSSLINKED POLYSTYRENE

©Mushinskii L., ORCID: 0000-0002-0819-6664, SPIN-code: 5679-1478,
Tver State Technical University, Tver, Russia

©Navrotskaya I., Tver State Technical University, Tver, Russia

©Brovko R., ORCID: 0000-0001-9945-566X, SPIN-code: 1638-1220, Ivanovo State University of
Chemical Technology, Ivanovo, Russia, romanvictorovich69@mail.ru

©Doluda V., ORCID: 0000-0002-2865-9945, SPIN-code: 8836-6137, Dr. habil.,
Ivanovo State University of Chemical Technology, Ivanovo, Russia, Russia, doludav@yandex.ru

Аннотация. В работе представлено исследование кинетических закономерностей каталитического гидрирования нитробензола с образованием анилина в присутствии Ni-содержащего катализатора на основе сверхсшитого полистирола. Гидрирование анилина является сложным многостадийным процессом сопровождающимся образованием большого количества как промежуточных, так и побочных продуктов, включая азобензол, азоксибензол, нитрозобензол, фенилгидроксиламин и т. п. В связи с чем изучение кинетики этого процесса является важной научно-технической задачей необходимой для повышения выхода целевого продукта — анилина. Реакцию гидрирования нитробензола проводили в шестиячеечном реакторе высокого давления Parr instruments, Series 5000. Анализ продуктов осуществлялся хроматографический методом с использованием газового хроматографа Кристаллюкс-4000М (Россия, Мета-Хром). Было исследовано влияние температуры, давления, концентрации катализатора, выбраны оптимальные условия проведения реакции, обеспечивающие максимальный выход анилина. Исследование влияния начальной концентрации нитробензола на скорость его трансформации, что увеличение соотношения катализатора к нитробензолу с 0,2 до 0,6 кг (Кат)/кг(НБ) приводит к линейному росту скорости трансформации нитробензола с 0,0002 кг(НБ)/(кг(Кат)*с) до 0,0028 кг(НБ)/(кг(Кат)*с), дальнейшее увеличение соотношения концентрации катализатора к концентрации нитробензола до 1,2 кг(Кат)/кг(НБ) приводит к стабилизации скорости трансформации нитробензола на уровне 0,003 кг(НБ)/(кг(Кат)*с). Увеличение температуры проведения реакции с 90 до 160 °С способствует значительному росту скорости трансформации нитробензола. Построенные зависимости позволили рассчитать кажущуюся энергию активации процесса, которая



составила 50,4 кДж/моль и предэкспоненциальный множитель, который составил 15821,11/с. Исследована применимость модели Ленгмюра–Хеншельвуда для описания основных кинетических закономерностей реакции каталитического гидрирования нитробензола с образованием анилина. Численными методами в среде Matlab были определены значения предэкспоненциальных множителей и энергий активации процессов гидрирования нитробензола, адсорбции нитробензола и адсорбции водорода, что позволило установить область проведения процесса гидрирования нитробензола $P_{H_2}=15-18$ атм, $C(NB)=1,2$ кг(НБ)/кг(Кат), $t=115-120$ °С обеспечивающая максимальную скорость.

Abstract. This paper presents a study of the kinetics of catalytic hydrogenation of nitrobenzene to aniline in the presence of Ni-containing catalysts based on super-crosslinked polystyrene. Aniline hydrogenation is a complex multi-stage process accompanied by the formation of a large number of both intermediate and by-products, including azobenzene, azoxybenzene, nitrosobenzene, phenylhydroxylamine and other substances. Therefore the study of the process kinetics is an important scientific and technical task necessary to increase the yield of the target product — aniline. The hydrogenation reaction of nitrobenzene was carried out in a six-cell high-pressure reactor Parr instruments, Series 5000. The products were analyzed by chromatography using a gas chromatograph Kristallux-4000M (Russia, Meta-Chrom). The effect of temperature, pressure, and concentration of the catalyst was studied; optimal reaction conditions were selected that ensure the maximum yield of aniline. Investigation of the effect of the nitrobenzene initial concentration on the rate of its transformation shows that increase of catalyst to nitrobenzene ratio from 0.2 to 0.6 kg (Cat)/kg (NB) leads to a linear increase in the rate of transformation of nitrobenzene from 0.0002 kg (NB) / (kg (Cat)*s) to 0.0028 kg(NB)/(kg(Cat)*s), a further increase in the ratio of catalyst concentration to nitrobenzene concentration to 1.2 kg (Cat)/kg(NB) leads to stabilization of the nitrobenzene transformation rate at the level of 0.003 kg(NB)/(kg(Cat)*s). An increase in the temperature of the reaction from 90 to 160 °C contributes to a significant increase in the nitrobenzene transformation rate. The constructed dependences made it possible to calculate the apparent activation energy of the process, which amounted to be 50.4 kJ/mol and the preexponential factor, which amounted to be 15821.1 1/s. The applicability of the Langmuir–Henschelwood model to describe the basic kinetic laws of the reaction of catalytic nitrobenzene hydrogenation with the formation of aniline is studied. Numerical methods in the Matlab software allows to determine the values of preexponential factors and activation energies of the nitrobenzene hydrogenation processes, adsorption of nitrobenzene and adsorption of hydrogen, which made it possible to establish the optimal area of nitrobenzene hydrogenation process of hydrogenation of $P_{H_2} = 15-18$ atm, $C(NB) = 1.2$ kg(NB)/kg(Cat), $t = 115-120$ °C providing maximum speed.

Ключевые слова: нитробензол, анилин, гидрирование, кинетика, сверхсшитый полистирол.

Keywords: nitrobenzene, aniline, hydrogenation, kinetics, super-stitched polystyrene.

Введение

Анилин является важным продуктом органического синтеза, широко используемым в производстве анилинформальдегидных смол, добавок к резине, красителей, присадок к моторным топливам и маслам, а также фармацевтических препаратов [1–5]. В настоящее время мировое производство анилина достигло 8 млн т/год при этом к 2027 г. планируется



рост производства до 10 млн т/год [1–3], что может способствовать разработке новых более эффективных технических решений в синтезе анилина.

Известны различные способы получения анилина, из которых необходимо отметить каталитическое гидрирование нитробензола (НБ) с использованием никеля Ренея [1–5] и некаталитическое гидрирование нитробензола при кислотном растворении металлов.

Синтез с использованием никеля Ренея разнообразен по условиям проведения процесса. Основными достоинствами следует указать достаточно высокий выход анилина – 70–93% [6–7], возможность его восстановления после дезактивации и не высокая стоимость по сравнению с использованием металлов платиновой группы. Недостатком метода является то, что катализатор готовится непосредственно перед синтезом из сплава никеля и алюминия, изготовление которого в лабораторных условиях невозможно. Также, данный катализатор пирофорен при контакте с воздухом и дезактивируется при многократном использовании, а также в кислой, щелочной и водной среде.

Гидрирование с использованием катализатора на основе меди является одним из самых распространенных в промышленности. Достоинствами метода являются возможность восстановления после нескольких циклов использования, а также доступность по сравнению с металлами платиновой группы. Из недостатков можно отметить различие диффузии молекул водорода и нитробензола во внутренние части зерен катализатора, что негативно сказывается на выходе продукта и более быстрой дезактивации катализатора [8–10].

На основании изученных данных можно сделать вывод о необходимости модернизации технологии синтеза анилина (Рисунок 1), которая требует улучшения катализатора, подбора параметров реакции для получения лучших значений селективности и конверсии и изучения кинетических особенностей получения анилина. Последовательность протекающих в процессе гидрирования реакций (Рисунок 1) определяет большое количество как промежуточных, так и побочных продуктов, наличие которых отрицательно влияет на выход целевого продукта анилина.

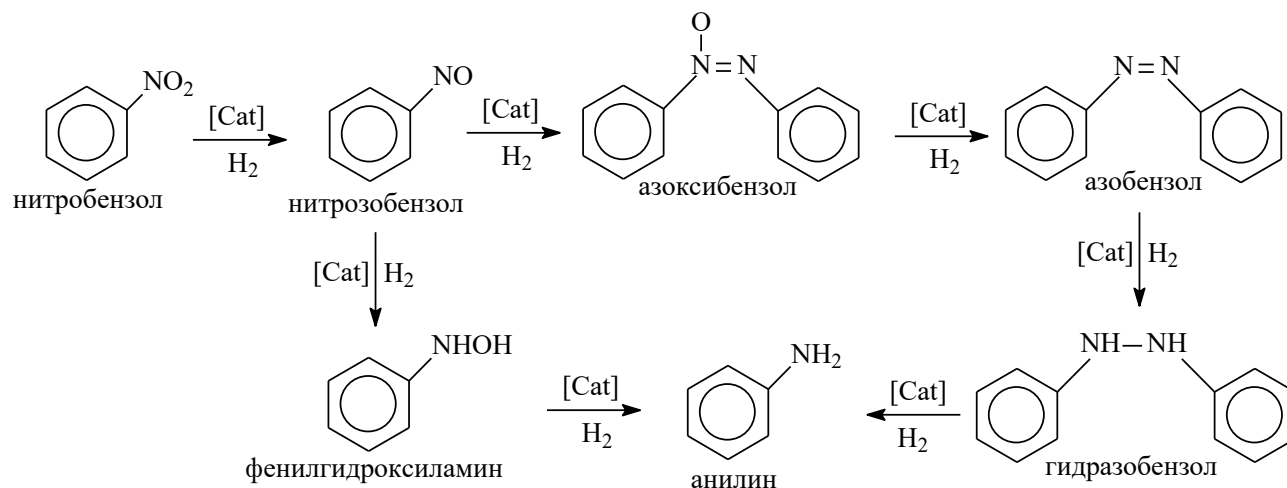


Рисунок 1. Каталитическое гидрирование нитробензола.

Материал и методы исследования

Каталитическое гидрирование нитробензола проводилось на установке Parr Series 5000 Multiple Reactor System (Рисунок 2).

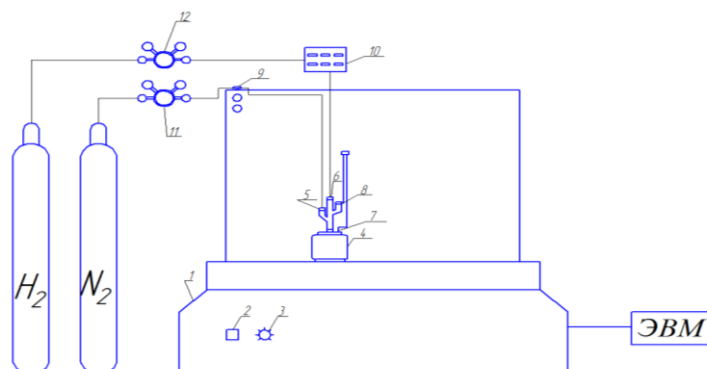


Рисунок 2. Реактор Multiple Reactor System (MRS) Series 5000: 1 — основной блок; 2 — тумблер питания; 3 — ручка регулирования частоты оборотов мешалок в «ячейках»; 4 — «ячейки» реактора; 5 — клапан для продувки реакторов азотом; 6 — клапан подачи водорода и отбора проб; 7 — термомпара, 8 — манометр; 9 — клапан регулирования подачи азота; 10 — клапан регулирования подачи водорода; 11–12 — редукторы давления газов, подаваемых в реактор.

Она состоит из стального термостатируемого реактора, имеющего штуцеры для продувки, подачи инертного газа и отбора проб. Перемешивание производится магнитной мешалкой, приводимой в движение электродвигателем (максимальное число оборотов в минуту — 1600). Контроль за давлением производился с помощью датчика давления. Термостатирование реактора осуществляется программируемым нагревательным элементом. Точность поддержания температуры составляет 0,1 °С.

Для исследования области в которой протекает реакция были проведены предварительные эксперименты при варьировании температуры от 90 до 160 °С, начальной концентрацией нитробензола (C_0) от 0,15 до 0,94 моль/л, при оптимальной концентрации катализатора 0,085–0,342 моль(Ni)/л и давлении от 1 до 7 МПа.

Стандартный эксперимент проводили следующим образом. Колбу с навесками катализатора, нитробензола и метилового спирта продували 3 раза 100 мл азота под давлением от 1 до 7 МПа, затем нагревали до необходимой температуры в атмосфере азота и 3 раза продували водородом. Гидрирование нитробензола в среде метилового спирта осуществлялось в следующих условиях: масса катализатора (25 мас.% Ni на сверхсшитом полистироле) от 0,1 г до 0,4 г, время реакции 60 минут, температура от 90 до 160 °С, частота вращения мешалки 1100 об/мин.

Формулы, используемые при расчетах представлены ниже (1) и (2).

Конверсия:

$$K = \left(1 - \frac{S_{\text{пика НБ}}}{\Sigma \text{пиков}} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

Селективность:

$$C = \frac{S_{\text{пика АН}}}{S_{\text{пика АН}} + S_{\text{ПБ}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Анализ продуктов проводили методом газовой хроматографии с использованием газового хроматографа Кристаллюкс-4000М (Россия, Мета-Хром), оснащенного детекторами ПИД и ДТП последовательно подключенными.

Результаты и обсуждение

Исследование влияния начальной концентрации нитробензола на скорость его трансформации представлено на Рисунке 3. Уменьшение начальной концентрации нитробензола (Рисунок 3а) приводит к пропорциональному снижению скорости. Увеличение соотношения катализатора к нитробензолу с 0,2 до 0,6 кг(Кат)/кг(НБ) приводит к линейному росту скорости трансформации нитробензола с 0,0002 кг(НБ)/(кг(Кат)*с) до 0,0028 кг(НБ)/(кг(Кат)*с) (Рисунок 3б), дальнейшее увеличение соотношения концентрации катализатора к концентрации нитробензола до 1,2 кг(Кат)/кг(НБ) приводит к стабилизации скорости трансформации нитробензола на уровне 0,003 кг(НБ)/(кг(Кат)*с).

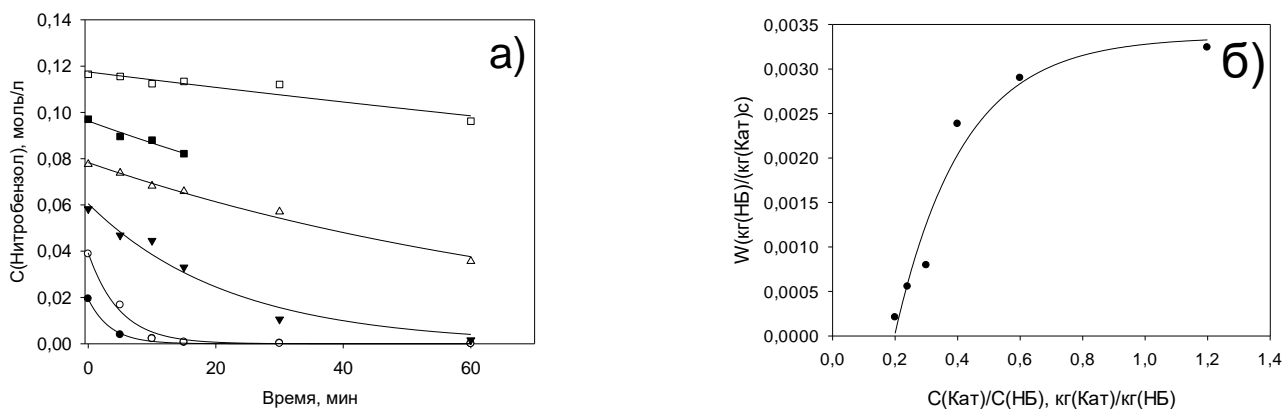


Рисунок 3. Влияние а) начальной концентрации нитробензола на скорость гидрирования нитробензола б) соотношения концентрации катализатора к нитробензолу на скорость гидрирования нитробензола ($t=120\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p(\text{H}_2)=23,5\text{ атм}$, $c(\text{Ni-СПС})=2\text{ г/л}$, $c(\text{Ni})=0,007\text{ моль/л}$).

Результаты исследования влияния температуры проведения процесса гидрирования нитробензола на скорость его трансформации приведены на Рисунке 4а. Увеличение температуры проведения реакции с 90 до 160 °С способствует значительному росту скорости трансформации нитробензола. Построение зависимости константы скорости реакции трансформации нитробензола от температуры в координатах уравнения Аррениуса (Рисунок 4б) позволило рассчитать энергию активации процесса, которая составила 50,4 кДж/моль и предэкспоненциальный множитель, который составил 15821,1 1/с.

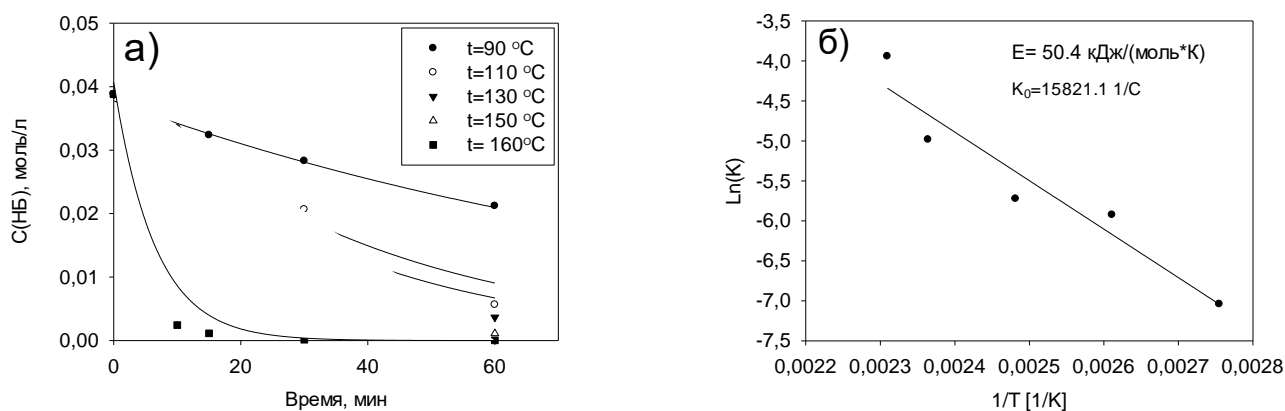
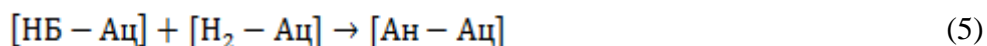


Рисунок 4. Влияние а) Температуры на скорость гидрирования нитробензола; б) графическое выражение уравнения Аррениуса для реакции гидрирования нитробензола до анилина ($t=90\text{--}160\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p(\text{H}_2)=23,5\text{ атм}$, $c(\text{Ni-СПС})=2\text{ г/л}$, $c(\text{Ni})=0,007\text{ моль/л}$).

Значения энергии активации процесса гидрирования нитробензола близко к данным полученным для реакции проводимой с использованием промышленного катализатора никеля Ренея или нанесенного на оксид алюминия никеля (50–54 кДж/моль), что указывает на одинаковый механизм гидрирования нитробензола [3, 6, 8].

Наиболее часто процесс гидрирования нитробензола описывают с использованием механизма Ленгмюра-Хиншельвуда [3], включающего в себя стадии адсорбции субстратов на активных центрах и поверхностную реакцию, спilloвер реагентов по поверхности катализатора и десорбцию (Уравнения 3–6) продукта.



В соответствии с моделью Ленгмюра-Хиншельвуда уравнение для скорости трансформации нитробензола может быть выражено уравнением 7.

$$\frac{d(\text{НБ})}{dt} = -k \frac{K_1 C_{\text{НБ}} K_2 P_{\text{H}_2}}{(1 + K_1 C_{\text{НБ}} + K_2 P_{\text{H}_2})^2} \quad (7)$$

где: k — константа скорости, 1/(атм с);

K_1 — константа адсорбции нитробензола, кг(Кат)/кг(НБ);

K_2 — константа адсорбции водорода, 1/атм;

$C_{\text{НБ}}$ — концентрация нитробензола, кг(НБ)/кг(Кат);

P_{H_2} — давление водорода, атм.

Которое с учетом уравнения Аррениуса может быть выражено уравнением 8.

$$\frac{d(\text{НБ})}{dt} = -k_0 e^{-\frac{E_{\text{акт}}}{RT}} \frac{K_1^0 e^{-\frac{E_1^0}{RT}} C_{\text{НБ}} K_2^0 e^{-\frac{E_2^0}{RT}} P_{\text{H}_2}}{\left(1 + K_1^0 e^{-\frac{E_1^0}{RT}} C_{\text{НБ}} + K_2^0 e^{-\frac{E_2^0}{RT}} P_{\text{H}_2}\right)^2} \quad (8)$$

Где k_0 — предэкспоненциальный множитель константы скорости реакции гидрирования нитробензола, 1/(атм с),

$E_{\text{акт}}$ — энергия активации процесса гидрирования нитробензола, кДж/(кг К),

K_1^0 — предэкспоненциальный множитель константы адсорбции нитробензола, кг(Кат)/кг(НБ),

E_1^0 — энергия активации процесса адсорбции нитробензола, кДж/(кг К),

K_2^0 — предэкспоненциальный множитель константы адсорбции водорода, 1/атм,

E_2^0 — энергия активации процесса адсорбции водорода, кДж/(атм К),

Уравнение 7 было решено численными методами в среде Matlab с использованием метода Левенберга-Марквардта, полученные значения констант и энергий активаций приведены в Таблице.



Таблица.

ЗНАЧЕНИЯ ПРЕДЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ МНОЖИТЕЛЕЙ И ЭНЕРГИЙ АКТИВАЦИИ
 ПРОЦЕССОВ ГИДРИРОВАНИЯ НИТРОБЕНЗОЛА, АДСОРБЦИИ НИТРОБЕНЗОЛА
 И АДСОРБЦИИ ВОДОРОДА

Константы	Единицы измерения	Значение	$\sigma_{95\%}$
k_0	1/с	15821	± 790
$E_{\text{акт}}$	кДж/(кг К)	50,4	$\pm 3,2$
K_1^0	кг(Кат)/кг(НБ)	4537	± 224
E_1^0	кДж/(кг К)	24	$\pm 1,4$
K_2^0	1/атм	3627	± 165
E_2^0	кДж/(атм К)	16	$\pm 0,8$

На основе полученных предэкспоненциальных множителей была определена оптимальная область проведения процесса гидрирования нитробензола $P_{H_2}=15-18$ атм, $S(\text{НБ})=1,2$ кг(НБ)/кг(Кат), $t=115-120$ °С обеспечивающая максимальную скорость проведения каталитического процесса, что коррелирует с результатами литературных данных по гидрированию нитробензола на никельсодержащих катализаторах [6–8].

Заключение

Каталитическое гидрирование нитробензола на никельсодержащем сверхсшитом полистироле является сложным химическим процессом, включающим в себя стадии адсорбции нитробензола и водорода на активных центрах катализатора, спillover реагентов по поверхности никеля или его оксида, поверхностную реакцию, и десорбцию анилина с поверхности катализатора. Варьирование условий проведения процесса в широких диапазонах температуры (90–160 °С), давления (10–70 атм.) и соотношения количеств нитробензола и катализатора (0,2–1,4) позволило получить кинетические закономерности гидрирования нитробензола, которые были описаны с помощью модели Ленгмюра-Хиншельвуда. Численными методами в среде Matlab были определены значения предэкспоненциальных множителей и энергий активации процессов гидрирования нитробензола, адсорбции нитробензола и адсорбции водорода, что позволило установить область проведения процесса гидрирования нитробензола $P_{H_2}=15-18$ атм., $S(\text{НБ})=1,2$ кг(НБ)/кг(Кат), $t=115-120$ °С обеспечивающая максимальную скорость.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ 18-79-10157.

Список литературы:

1. Lamture J. V. Aniline and Its Analogs. Notion Press, 2018.
2. Leggetter B. E., Brown R. K. Reduction of monohalogenated nitrobenzenes with hydrazine and raney nickel. a convenient preparation of halogenated anilines // Canadian Journal of Chemistry. 1960. V. 38. №12. P. 2363-2366. <https://doi.org/10.1139/v60-320>
3. Petrov L., Kumbilieva K., Kirkov N. Kinetic model of nitrobenzene hydrogenation to aniline over industrial copper catalyst considering the effects of mass transfer and deactivation // Applied catalysis. 1990. V. 59. №1. P. 31-43. [https://doi.org/10.1016/S0166-9834\(00\)82185-5](https://doi.org/10.1016/S0166-9834(00)82185-5)
4. Latypova A. R., Filippov D. V., Lefedova O. V., Bykov A. V., Doluda V. Y. Environmentally safe synthesis of hydrogenation nickel catalysts // Известия высших учебных



заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2019. Т. 62. №9. С. 46-52. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196209.6065>

5. Doluda V. Yu., Sidorov A. I., Sulman E. M., Latypova A. R., Filippov D. V. F., Lefedova O. V. Synthesis, structure and catalytic properties of Pd nanostructured materials in p-nitroaniline catalytic hydrogenation // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2019. Т. 62. №6. С. 60-68. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196206.6041>

6. Qu Y., Chen T., Wang G. Hydrogenation of nitrobenzene catalyzed by Pd promoted Ni supported on C60 derivative // Applied Surface Science. 2019. V. 465. P. 888-894. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.08.199>

7. Jiang Y., Li X., Qin Z., Ji H. Preparation of Ni/bentonite catalyst and its applications in the catalytic hydrogenation of nitrobenzene to aniline // Chinese Journal of Chemical Engineering. 2016. V. 24. №9. P. 1195-1200. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2016.04.030>

8. Venkateshwarlu V. et al. Advantage of carbon coverage over Al₂O₃ as support for Ni/C-Al₂O₃ catalyst in vapour phase hydrogenation of nitrobenzene to aniline // Catalysis Communications. 2016. V. 86. P. 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2016.07.026>

9. Chen G. et al. Hierarchical Pd@ Ni catalyst with a snow-like nanostructure on Ni foam for nitrobenzene hydrogenation // Applied Catalysis A: General. 2019. V. 575. P. 238-245. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2019.02.001>

10. Qu Y., Chen T. Fullerene derivative supported Ni for hydrogenation of nitrobenzene: Effect of functional group of fullerene derivative // Chemical Engineering Journal. 2020. V. 382. P. 122911. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122911>

References:

1. Lamture, J. B. (2018). Aniline and Its Analogs. Notion Press.
2. Leggetter, B. E., & Brown, R. K. (1960). Reduction of monohalogenated nitrobenzenes with hydrazine and raney nickel. a convenient preparation of halogenated anilines. *Canadian Journal of Chemistry*, 38(12), 2363-2366. <https://doi.org/10.1139/v60-320>
3. Petrov, L., Kumbilieva, K., & Kirkov, N. (1990). Kinetic model of nitrobenzene hydrogenation to aniline over industrial copper catalyst considering the effects of mass transfer and deactivation. *Applied catalysis*, 59(1), 31-43. [https://doi.org/10.1016/S0166-9834\(00\)82185-5](https://doi.org/10.1016/S0166-9834(00)82185-5)
4. Latypova, A. R., Filippov, D. V., Lefedova, O. V., Bykov, A. V., & Doluda, V. Y. (2019). Environmentally safe synthesis of hydrogenation nickel catalysts. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Khimiya Khimicheskaya Tekhnologiya*, 62(9), 46-52. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196209.6065>
5. Doluda, V. Y., Sidorov, A. I., Sulman, E. M., Latypova, A. R., Filippov, D. V., & Lefedova, O. V. (2019). Synthesis, structure and catalytic properties of pd nanostructured materials in p-nitroaniline catalytic hydrogenation. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Khimiya Khimicheskaya Tekhnologiya*, 62(6), 60-68. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196206.6041>
6. Qu, Y., Chen, T., & Wang, G. (2019). Hydrogenation of nitrobenzene catalyzed by Pd promoted Ni supported on C60 derivative. *Applied Surface Science*, 465, 888-894. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.08.199>
7. Jiang, Y., Li, X., Qin, Z., & Ji, H. (2016). Preparation of Ni/bentonite catalyst and its applications in the catalytic hydrogenation of nitrobenzene to aniline. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24(9), 1195-1200. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2016.04.030>
8. Venkateshwarlu, V., Mohan, V., Rao, M. V., Nagaiah, P., Raju, B. D., & Rao, K. R. (2016). Advantage of carbon coverage over Al₂O₃ as support for Ni/C-Al₂O₃ catalyst in vapour phase



hydrogenation of nitrobenzene to aniline. *Catalysis Communications*, 86, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2016.07.026>

9. Chen, G., Zhu, X., Chen, R., Liao, Q., Ye, D., Zhang, B., ... & Wang, K. (2019). Hierarchical Pd@ Ni catalyst with a snow-like nanostructure on Ni foam for nitrobenzene hydrogenation. *Applied Catalysis A: General*, 575, 238-245. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2019.02.001>

10. Qu, Y., & Chen, T. (2020). Fullerene derivative supported Ni for hydrogenation of nitrobenzene: Effect of functional group of fullerene derivative. *Chemical Engineering Journal*, 382, 122911. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122911>

*Работа поступила
в редакцию 19.03.2020 г.*

*Принята к публикации
22.03.2020 г.*

Ссылка для цитирования:

Мушинский Л. С., Навроцкая И. В., Бровко Р. В., Долуда В. Ю. Изучение кинетических особенностей синтеза анилина на Ni-содержащем сверхсшитом полистироле // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №4. С. 18-26. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/53/02>

Cite as (APA):

Mushinskii, L., Navrotskaya, I., Brovko, R., & Doluda, V. (2020). Study of Nitrobenzene Kinetic Particularities over Ni-containing Hypercrosslinked Polystyrene. *Bulletin of Science and Practice*, 6(4), 18-26. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/53/02> (in Russian).