

УДК 547-316 + 547.26 + 544.478

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-12-283-46-50

*А. В. Разваляева, А. О. Сергеев, Д. С. Косьяненко, А. О. Панов
А. А. Шурак, Д. Н. Небыков, В. М. Мохов*

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРИРОВАНИЯ КАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРИСУТСТВИИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ НИКЕЛЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: anastasia.razvaliaeva@yandex.ru

Изучено влияние способа приготовления катализатора на протекание процесса гидрирования карбонильных соединений в присутствии никелевых катализаторов, полученных методом нанесения-осаждения с применением карбамида в качестве осадителя. Показано, что увеличение содержания никеля и модификаторов способствует повышению конверсии субстрата на примере реакции гидрирования метилизобутилкетона (МИБК).

Ключевые слова: катализ, гидрирование, никель, карбонильные соединения, спирты.

Благодарность: хромато-масс-спектрометрический анализ выполнен на оборудовании ЦКП Волгоградского государственного технического университета.

© Разваляева А. В., Сергеев А. О., Косьяненко Д. С., Панов А. О., Шурак А. А., Небыков Д. Н., Мохов В. М., 2023.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке ВолгГТУ в рамках научного проекта № 30/554-23.

В промышленности спирты используются в качестве растворителей алкилирующих агентов при производстве вторичных аминов, в пищевой и парфюмерной областях [1; 2]. Так, например, бензиловый спирт используют для производства красок и лаков [3], вкусовых добавок, отдушек в пищевой индустрии [4]. Метилизобутилкарбинол применяют в качестве вспенивателя при флотации минералов, в производстве присадок к смазочным маслам, таких как дитиофосфат цинка, и в качестве растворителя в органическом синтезе [5].

Одним из основных способов получения спиртов является каталитическое гидрирование карбонильных соединений.

Среди существующих методов восстановления карбонильной группы известно использование комплексных гидридов металлов [6; 7], трансферное (переносное) гидрирование с использованием низших спиртов [8; 9], гидрирование водородом с применением коллоидных катализаторов [10] и гидрирование в газовой фазе [11–13]. Из вышеупомянутых способов наиболее технологичен и промышленно реализуем процесс с использованием газообразного водорода, поскольку отсутствует потребность в использовании дорогостоящих катализаторов, а сам процесс можно осуществлять непрерывно.

Например, для восстановления ацетона до изопропанола в газовой фазе в качестве катализатора гидрирования авторы работы [11] использовали катализатор Pt-ZrO₂. Процесс проводили при температуре 80 °С при объемной скорости реакционной смеси 10 ч⁻¹, конверсия ацетона достигала 92 % и селективность по спирту – 98 %.

Авторами статьи [12] изучалось гидрирование метилизобутилкетона на бифункциональном платиново-цеолитном катализаторе и некоторых других. Так, использование 5%Cu/SiO₂ позволяет достигать селективность по метилизобутилкарбинолу 100 % и конверсию кетона 34 % при температуре 200 °С. Смешанные оксиды меди и хрома (2CuO·Cr₂O₃) при 400 °С показали селективность по спирту 82 % при конверсии по исходному кетону 41 %. При применении платиново-цеолитных катализаторов (0,30%Pt/H-ZSM-5, 0,39%Pt/H-Beta, 0,45%Pt/H-Y) селективность по спирту заметно падает, поскольку происходит гидрирование карбонильной группы на металлических центрах с последующей дегидратацией на кислотных центрах,

и в качестве основного продукта образуются алканы. Так, например, применяя 0,30%Pt/H-ZSM-5 при 100 °С, селективность по спирту составляет 34 %, а при 200 °С она падает до 0 %.

Аналогичное исследование опубликовано авторами [13], в котором изучено газофазное гидрирование широкого круга кетонов в алканы. Процесс состоит из нескольких стадий, в которых изначально получают спирты различного строения. Ученые предлагают бифункциональный металлоокислотный катализатор, состоящий из металла (Pt, Ru, Ni и Cu), нанесенного на кислую цезиевую соль вольфрамфосфорной гетерополиокислоты Cs_{2,5}H_{0,5}PW₁₂O₄₀(CsPW). В данной работе показано, что при температуре 60 °С и в зависимости от катализатора селективность по спирту варьируется в пределах 70–92 %, дальнейшее увеличение температуры снижает количество спирта и увеличивает содержание алканов. При гидрировании метилизобутилкетона на катализаторе 0,5%Pt/CsPW и температуре 60 °С конверсия и селективность составляет 96 % и 77 % соответственно.

Таким образом, большинство разработанных катализаторов и способов гидрирования имеют ряд недостатков, среди которых можно отметить высокую стоимость катализаторов, проблему их выделения и регенерации, относительно низкие показатели конверсии и селективности. Известно, что наноструктурированные нанесенные никелевые катализаторы проявляют высокую эффективность в процессах гидрирования 2-метилфурана [14], диспропорционирования [15] и алкилирования аминов [16]. Поэтому было сделано предположение, что катализаторы такого типа могут проявлять активность в реакциях восстановления карбонильных соединений.

Целью данной работы является изучение процесса гидрирования карбонильных соединений в присутствии наноструктурированных нанесенных никелевых катализаторов и исследование влияния способа приготовления катализатора на его эффективность.

В качестве модельного соединения был выбран метилизобутилкетон (МИБК). Изучение процесса гидрирования МИБК проводилось в присутствии никелевого катализатора, приготовленного методом нанесения-осаждения, с использованием карбамида в качестве осадителя (схема). Для проведения экспериментов

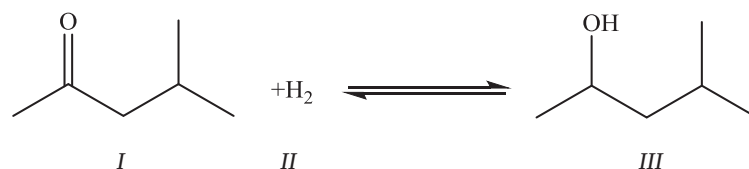
были приготовлены 3 образца катализаторов, отличающиеся друг от друга содержанием металла и модификаторов:

- катализатор Ni(м)/Al₂O₃ – приготовленный с использованием 0,42 г NiCl₂·6H₂O, 0,1 г 4Na-ЭДТА, 3 г (NH₂)₂CO, 0,1 г H₃BO₃ на 5 г Al₂O₃;

- 10Ni(м)/Al₂O₃ – приготовленный с использованием 4,2 г NiCl₂·6H₂O, 0,1 г 4Na-ЭДТА, 3 г (NH₂)₂CO, 0,1 г H₃BO₃ на 5 г Al₂O₃;

- 10Ni(10м)/Al₂O₃ – приготовленный с использованием 4,2 г NiCl₂·6H₂O, 1 г 4Na-ЭДТА, 3 г (NH₂)₂CO, 1 г H₃BO₃ на 5 г Al₂O₃.

Схема



Процесс гидрирования МИБК (**I**) проводился при атмосферном давлении водорода в интервале температур 150–180 °С. МИБК был предварительно смешан с инертным в условиях процесса разбавителем – этанолом в соотношении 1:1 (об.). Мольное соотношение **I:II**=1:19–32. Анализ полученного катализата проводили методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ).

Полученные результаты по конверсии МИБК (**X**) и выходу (**f**) целевого продукта **III** представлены в таблице.

Влияние содержания никеля в катализаторе на эффективность процесса

Катализатор	t, °С	Расход H ₂ л/ч	X, %	f, %
Ni(м)/Al ₂ O ₃	150	5	55	55
	160	5	59	59
	180	5	53	53
10-Ni(м)/Al ₂ O ₃	160	5	52	52
	180	5	49	49
10-Ni(10м)/Al ₂ O ₃	150	5	62	62
	160	5	83	83
	180	5	61	61
	180	3	66	66

Полученные результаты свидетельствуют о том, что температура 160 °С является оптимальной для всех исследованных катализаторов. Поскольку реакция гидрирования метилизобутилкетона до спирта является обратимой химической реакцией, то зависимость конверсии от температуры проходит через точку максимума, которая находится в пределах 160 °С. Дальнейшее увеличение температуры приводит к снижению выхода продукта, так как равновесие смещается в сторону образования исходного кетона.

Зависимость мольного соотношения **I:II** показывает, что уменьшение соотношения водорода с 1:32 до 1:19 не оказывает существенного влияния. Это может быть связано с тем, что, несмотря на смещение равновесия влево за счет снижения концентрации водорода, увеличивается время контакта МИБК с катализатором.

Из таблицы видно, что увеличение загрузки никеля без пропорционального увеличения загрузки модификатора не оказывает влияния на активность катализатора. Применение катализатора, в котором загрузки металла и модификатора увеличены пропорционально, показало, что модификаторы оказывают существенное влияние на активность катализатора, так при 160 °С конверсия возросла до 83 % при селективности 100 %.

Таким образом, установлено, что применение наноструктурированных нанесенных никелевых катализаторов позволяет эффективно проводить непрерывный процесс гидрирования МИБК. Показано, что оптимальными условиями являются: температура 160 °С, давление 1 атм и мольное соотношение **I:II** 1:32. Предположительно, изменение морфологии поверхности синтезированных с использованием химического восстановления никелевых катализаторов за счет улучшения распределения и стабильности активной металлической фазы путем введения модификаторов, позволяет повысить эффективность катализаторов гидрирования карбонильных соединений.

Экспериментальная часть

Хромато-масс-спектральный анализ выполнен на приборе Хроматэк-Кристалл 5000 225238 (ЭУ, 70ЭВ). Количественный ГЖХ-анализ реакционной массы проводили на хроматографе Кристаллюкс-4000М (t_н 100–210 °С, t_{исп} 250 °С, полярная колонка НР-5, l 50 м, d 0,32 мм, газ-

носитель – азот, детектор – ПИД, $t_{\text{пид}}$ 250 °С, растворитель – этанол).

Приготовление катализатора

– катализатор (1) $\text{Ni}(m)/\text{Al}_2\text{O}_3$. К навеске носителя ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, ГОСТ 8136-85, фракция 1,0–1,5 мм, 5 г) добавляли 40 мл водного раствора, содержащего 3 г $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ и 0,1 г H_3BO_3 . Полученный раствор выдерживали при температуре 90 °С в течение 30 минут. Отдельно подготавливали водный раствор (10 мл), содержащий 0,42 г $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 0,1 г 4Na-ЭДТА, который добавляли к носителю и выдерживали при 90 °С до исчезновения окраски. Восстановление проводили смесью водного раствора NaBH_4 (3 порции по 0,3 г в 10 мл воды) и 5 мл $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ при 90 °С в течение 1 ч;

– катализатор (2) $10\text{-Ni}(m)/\text{Al}_2\text{O}_3$. К навеске носителя ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, ГОСТ 8136-85, фракция 1,0–1,5 мм, 5 г) добавляли 40 мл водного раствора, содержащего 3 г $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ и 0,1 г H_3BO_3 . Полученный раствор выдерживали при температуре 90 °С в течение 30 минут. Отдельно подготавливали водный раствор (10 мл), содержащий 4,2 г $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 0,1 г 4Na-ЭДТА, который добавляли к носителю и выдерживали при 90 °С до исчезновения окраски. Восстановление проводили смесью водного раствора NaBH_4 (3 порции по 0,3 г в 10 мл воды) и 5 мл $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ при 90 °С в течение 1 ч;

– катализатор (3) $10\text{-Ni}(10m)/\text{Al}_2\text{O}_3$. К навеске носителя ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, ГОСТ 8136-85, фракция 1,0–1,5 мм, 5 г) добавляли 40 мл водного раствора, содержащего 3 г $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ и 1,0 г H_3BO_3 . Полученный раствор выдерживали при температуре 90 °С в течение 30 минут. Отдельно подготавливали водный раствор (10 мл), содержащий 4,2 г $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 1,0 г 4Na-ЭДТА, который добавляли к носителю и выдерживали при 90 °С до исчезновения окраски. Восстановление проводили смесью водного раствора NaBH_4 (3 порции по 0,3 г в 10 мл воды) и 5 мл $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ при 90 °С в течение 1 ч;

Проведение эксперимента

Реакцию проводили в реакторе проточного типа в токе водорода при атмосферном давлении в интервале температур 150–180 °С.

Лабораторный реактор представляет собой трубку из стали 12Х18Н10Т с внутренним диаметром 9 мм, помещенную в электрическую печь с высотой зоны нагрева 200 мм. Источником водорода является генератор водорода ГВ-

7 с регулируемой подачей газа. Катализатор загружали в реактор во влажном виде, сверху засыпали инертный носитель (кварцевая насадка той же фракции) слоем толщиной 10 мм, после чего осушали в токе водорода при 220 °С непосредственно перед реакцией в течение 2 часов. После подготовки катализатора в реактор при заданной температуре дозировали МИБК (**I**) и требуемое количество водорода (**II**) прямотоком сверху вниз. Масс-спектр продукта реакции **III** (ЭУ, 70эВ), m/e (Iотн, %): 102 (1) [M], 45 (100), 43 (27), 41 (18), 27 (15).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ide, M. S., Hao B., Neurock M., Davis R. J. Mechanistic insights on the hydrogenation of α,β -unsaturated ketones and aldehydes to unsaturated alcohols over metal catalysts // ACS Catalysis. – 2012. – Vol. 2. – № 4. – P. 671–683.
2. Изучение процесса алкилирования анилина спиртами в присутствии нанесенного медного катализатора / Ю. В. Попов, В. М. Мохов, А. О. Панов, С. Е. Латышова, А. В. Разваляева, М. А. Лагутин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 12 (259) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов»). – С. 60–63.
3. Mironenko, R. M., Belskaya O. B., Gulyaeva T. I., Trenikhin M. V., Nizovskii A. I., Kalinkin A. V., Bukhtiyarov V. I., Lavrenov A. V., Likhonolobov V. A. Liquid-phase hydrogenation of benzaldehyde over Pd-Ru/C catalysts: Synergistic effect between supported metals // Catalysis Today. – 2017. – Vol. 279. – P. 2–9.
4. Bhanushali, J. T., Kainthla I., Keri R. S., Nagaraja B. M. Catalytic Hydrogenation of Benzaldehyde for Selective Synthesis of Benzyl Alcohol: A Review // ChemistrySelect. – 2016. – Vol. 1. – № 13. – P. 3839–3853.
5. Howard, P. H. Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals / P. H. Howard. – Boca Raton, Florida: CRC Press, 1989. – Vol.4. – P. 430–434.
6. Bahuquna, A., Chakraborty S., Sasson, Y. NiO–Ni/graphitic carbon nitride as a selective catalyst for transfer hydrogenation of carbonyl compounds using NaH_2PO_2 as a hydrogen source // Int. J. Hydrogen Energy. – 2021. – № 46. – P. 28554–28564.
7. Seyden-Penne, J. Reductions by the Alumino- and Borohydrides in Organic Synthesis / J. Seyden-Penne. – New York: Wiley-VCH, 1997. – Second Edition. – 224 p.
8. Alonso, F., Riente P., Yus M. Nickel Nanoparticles in Hydrogen Transfer Reactions // Acc. Chem. Res. – 2011. – № 44. – P.379–391.
9. Marulasiddeshwara, M. B., Kumar P. R. Hydrogenation of carbonyl compounds to alcohols catalyzed by lignin supported palladium nanoparticles // Materialstoday Proceendings. – Vol. 9, Part 2. – 2019. – P. 295–305.
10. Мохов, В. М. Гидрирование карбонильных соединений при катализе коллоидными частицами никеля и атмосферном давлении водорода / В. М. Мохов, Ю. В. Попов, Иту Бессей Бессей // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4 (107) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов»; вып. 10). – С. 91–94.
11. Liu, K., Zhang T., Liu X., Wang T., Su Y., Wang H., Sun L., Cao X., Bi Y., Wang K., Zhang L. Influence of reduction temperature on Pt–ZrO₂ interfaces for the gas-phase hy-

drogenation of acetone to isopropanol // Catal. Sci. Technol. – Vol. 13. – № 9. – 2023. – P. 2675–2684.

12. Alotaibi, M. A., Kozhevnikova E. F., Kozhevnikov I. V. Hydrogenation of methyl isobutyl ketone over bifunctional Pt-zeolite catalyst // J. Catal. – 2012. – Vol. 293. – P. 141–144.

13. Alharbi, K., Kozhevnikova E. F., Kozhevnikov I. V. Hydrogenation of ketones over bifunctional Pt-heteropoly acid catalyst in the gas phase // Appl Catal. A. – 2015. – Vol. 504. – P. 457–462.

14. Исследование процесса гидрирования 2-метилфурана в присутствии катализаторов на основе частиц никеля, иммобилизованных на поверхности модифицированного оксида алюминия / В. В. Шемет, А. О. Панов, А. А. Шурак, Д. Н. Небыков, В. М. Мохов, Ю. В. Попов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 12 (271) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов»). – С. 23–28.

15. Изучение влияния содержания металла в никелевом катализаторе на процесс диспропорционирования первичных аминов / В. М. Мохов, А. О. Панов, С. Е. Латышова, М. А. Лагутин, А. В. Разваляева, Ю. В. Попов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 12 (271) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов»). – С. 28–33.

16. Коллоидные и наноразмерные катализаторы в органическом синтезе: XXVI. Алкилирование аминов спиртами при катализе нанесенными на гамма-Al₂O₃ наночастицами никеля и меди / Д. Н. Небыков, А. О. Панов, А. В. Разваляева, С. Е. Латышова, В. М. Мохов // Журнал общей химии. – 2023. – Т. 93, № 8. – С. 1151–1161.

REFERENCES

1. Ide, M. S., Hao B., Neurock M., Davis R. J. Mechanistic insights on the hydrogenation of α,β -unsaturated ketones and aldehydes to unsaturated alcohols over metal catalysts // ACS Catalysis. – 2012. – Vol. 2. – № 4. – P. 671–683.

2. Изучение процесса алкилирования анилина спиртами в присутствии нанесенного медного катализатора / YU. V. Popov, V. M. Mohov, A. O. Panov, S. E. Latyshova, A. V. Razvalyeva, M. A. Lagutin // Izvestiya VolgGTU. Ser. Himiya i tekhnologiya elementoorganicheskikh monomerov i polimernykh materialov. – Volgograd, 2021. – № 12 (259). – С. 60–63.

3. Mironenko, R. M., Belskaya O. B., Gulyaeva T. I., Trenikhin M. V., Nizovskii A. I., Kalinkin A. V., Bukhtiyarov V. I., Lavrenov A. V., Likhobolov V. A. Liquid-phase hydrogenation of benzaldehyde over Pd-Ru/C catalysts: Synergistic effect between supported metals // Catalysis Today. – 2017. – Vol. 279. – P. 2–9.

4. Bhanushali, J. T., Kainthla I., Keri R. S., Nagaraja B. M. Catalytic Hydrogenation of Benzaldehyde for Selective Synthesis of Benzyl Alcohol: A Review // ChemistrySelect. – 2016. – Vol. 1. – № 13. – P. 3839–3853.

5. Howard, P. H. Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals / P. H. Howard. – Boca

Raton, Florida: CRC Press, 1989. – Vol. 4. – P. 430–434.

6. Bahuguna, A., Chakraborty S., Sasson, Y. NiO–Ni/graphitic carbon nitride as a selective catalyst for transfer hydrogenation of carbonyl compounds using NaH₂PO₂ as a hydrogen source // Int. J. Hydrogen Energy. – 2021. – № 46. – P. 28554–28564.

7. Seyden-Penne, J. Reductions by the Alumino- and Borohydrides in Organic Synthesis / J. Seyden-Penne. – New York: Wiley-VCH, 1997. – Second Edition. – 224 p.

8. Alonso, F., Riente P., Yus M. Nickel Nanoparticles in Hydrogen Transfer Reactions // Acc. Chem. Res. – 2011. – № 44. – R. 379–391.

9. Marulasiddeshwara, M. B., Kumar P. R. Hydrogenation of carbonyl compounds to alcohols catalyzed by lignin supported palladium nanoparticles // Materialstoday Proceendings. – Vol. 9, Part 2. – 2019. – R. 295–305.

10. Mohov, V. M. Gidrirovaniye karbonil'nykh soedinenij pri katalize kolloidnymi chasticami nikelya i atmosfernom davlenii vodoroda / V. M. Mohov, YU. V. Popov, Iu. Bessej Bessej // Izvestiya VolgGTU. Seriya «Himiya i tekhnologiya elementoorganicheskikh monomerov i polimernykh materialov». Vyp. 10 : mezhvuz. sb. nauch. st. / VolgGTU. – Volgograd, 2013. – № 4 (107). – С. 91–94.

11. Liu, K., Zhang T., Liu X., Wang T., Su Y., Wang H., Sun L., Cao X., Bi Y., Wang K., Zhang L. Influence of reduction temperature on Pt–ZrO₂ interfaces for the gas-phase hydrogenation of acetone to isopropanol // Catal. Sci. Technol. – Vol. 13. – № 9. – 2023. – P. 2675–2684.

12. Alotaibi, M. A., Kozhevnikova E. F., Kozhevnikov I. V. Hydrogenation of methyl isobutyl ketone over bifunctional Pt-zeolite catalyst // J. Catal. – 2012. – Vol. 293. – R. 141–144.

13. Alharbi, K., Kozhevnikova E. F., Kozhevnikov I. V. Hydrogenation of ketones over bifunctional Pt-heteropoly acid catalyst in the gas phase // Appl Catal. A. – 2015. – Vol. 504. – R. 457–462.

14. Исследование процесса гидрирования 2-метилфурана в присутствии катализаторов на основе частиц никеля, иммобилизованных на поверхности модифицированного оксида алюминия / В. В. Шемет, А. О. Панов, А. А. Шурак, Д. Н. Небыков, В. М. Мохов, YU. V. Popov // Izvestiya VolgGTU. Ser. Himiya i tekhnologiya elementoorganicheskikh monomerov i polimernykh materialov. – Volgograd, 2022. – № 12 (271). – С. 23–28.

15. Изучение влияния содержания металла в никелевом катализаторе на процесс диспропорционирования первичных аминов / В. М. Мохов, А. О. Панов, С. Е. Латышова, М. А. Лагутин, А. В. Разваляева, YU. V. Popov // Izvestiya VolgGTU. Ser. Himiya i tekhnologiya elementoorganicheskikh monomerov i polimernykh materialov. – Volgograd, 2022. – № 12 (271). – С. 28–33.

16. Коллоидные и наноразмерные катализаторы в органическом синтезе: XXVI. Алкилирование аминов спиртами при катализе нанесенными на гамма-Al₂O₃ наночастицами никеля и меди / Д. Н. Небыков, А. О. Панов, А. В. Разваляева, С. Е. Латышова, В. М. Мохов // Zhurnal obshchej himii. – 2023. – Т. 93, № 8. – С. 1151–1161.

A. V. Razvalyeva, A. O. Sergeev, D. S. Kosyanenko, A. O. Panov

A. A. Shurak, D. N. Nebykov, V. M. Mokhov

STUDYING OF THE HYDROGENATION OF CARBONYL COMPOUNDS PROCESS IN THE PRESENCE OF NANOSTRUCTURED NICKEL CATALYSTS

Volgograd State Technical University

Abstract. The influence of the catalyst preparation method on the process of hydrogenation of carbonyl compounds in the presence of nickel catalysts obtained by the deposition-precipitation method using urea as a precipitant was studied. It has been shown that an increase in the content of nickel and modifiers helps to increase the substrate conversion using the example of the methyl isobutyl ketone (MIBK) hydrogenation reaction.

Keywords: catalysis, hydrogenation, nickel, carbonyl compounds, alcohols.