

Синтез янтарного ангидрида гидрированием малеинового ангидрида в присутствии гетерогенных промышленных катализаторов

© Ахмедьянова^{1*} Раиса Ахтямовна, Шамсутдинов¹ Альберт Артурович,
Васильева² Элина Алексеевна

¹ Кафедра технологии синтетического каучука; ² Кафедра химической кибернетики.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

ул. К. Маркса, 68. г. Казань, 420015. Республика Татарстан. Россия.

Тел.: ¹⁾ +7 917 291 0963. E-mail: ¹⁾ achra108@rambler.ru

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: янтарный ангидрид, малеиновый ангидрид, гидрирование, каталитическое гидрирование.

Аннотация

Проведена оценка эффективности ряда промышленных катализаторов в жидкофазном гидрировании малеинового ангидрида. Гидрирование малеинового ангидрида в растворе в присутствии гетерогенных катализаторов проводится в реакторе-автоклаве, представляющем собой металлический сосуд рабочим объёмом 230 мл, снабженный термозащитным кожухом и нагревательным элементом с магнитным перемешивающим устройством. В реактор загружаются рассчитанные количества малеинового ангидрида, растворителя и катализатора. Источником водорода служит генератор водорода. Водород подается в реактор через полипропиленовую трубку, погруженную в реакционную массу. Генератор водорода оснащен электронным дисплеем, на котором отображается значение подаваемого и достигаемого в реакторе давления, а также скорость подачи водорода. Контроль температуры осуществляется термопарой, показания температуры также отражаются на дисплее.

Количественный и качественный анализ реакционной массы гидрирования малеинового ангидрида проводится на хроматографе «КристалЛюкс-4000М» с пламенно-ионизационным детектором.

Для осуществления жидкофазного гидрирования проведен выбор растворителя, который обеспечивал бы оптимальные условия реакции и не вступал в побочные взаимодействия. Эксперименты показали, что этим требованиям более всего соответствует диоксан, обеспечивающий в присутствии ряда промышленных катализаторов гидрирования образование янтарного ангидрида.

Лучшие показатели процесса: конверсию малеинового ангидрида и селективность образования янтарного ангидрида проявляет палладиевый катализатор КПШ-1,5.

Выявлено, что при гидрировании малеинового ангидрида в янтарный ангидрид в среде диоксана при давлении водорода 4 атм в присутствии катализатора КПШ-1,5 оптимальная концентрация катализатора составляет 4.2 % масс; увеличение мольного соотношения водород : малеиновый ангидрид в реакционной смеси существенно ускоряет процесс гидрирования и сокращает время полного гидрирования, оптимальным является мольное соотношение водород : малеиновый ангидрид равное 2.68.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Ахмедьянова Р.А., Шамсутдинов А.А., Васильева Э.А. Синтез янтарного ангидрида гидрированием малеинового ангидрида в присутствии гетерогенных промышленных катализаторов. *Бутлеровские сообщения*. 2025. Т.84. №11. С.82-89. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-82

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Ахмедьянова Р.А., Шамсутдинов А.А., Васильева Э.А. Синтез янтарного ангидрида гидрированием малеинового ангидрида в присутствии гетерогенных промышленных катализаторов. *Бутлеровские сообщения* А. 2025. Т.11. №4. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-82/ROI-jbc-RA/25-11-4-8

The output for citing the English online version of the article:

Raisa A. Akhmedyanova, Albert A. Shamsutdinov, Elina A. Vasilyeva. Synthesis of succinic anhydride by hydrogenation of maleic anhydride in the presence of heterogeneous industrial catalysts. *Butlerov Communications A*. 2025. Vol.11. No.4. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-82/ROI-jbc-A/25-11-4-8

Литература

- [1] Succinic anhydride. *Электронный ресурс*. <https://www.primaryinfo.com/scope/succinic-anhydride.htm> (дата обращения: 26.10.2025). [Succinic anhydride. *Electronic Resource*. <https://www.primaryinfo.com/scope/succinic-anhydride.htm> (date of access: 26.10.2025).]
- [2] Succinic anhydride. *Электронный ресурс*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7922> (дата обращения: 26.10.2025). [Succinic anhydride. *Electronic Resource*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7922/> (date of access: 26.10.2025). (Russian)]
- [3] *Электронный ресурс*. <https://magazine.sibur.ru/publication/trends/maleinovyy-angidrid-ot-stroitelstva-i-neftedobychi-do-farmatsevtiki/> (дата обращения: 26.10.2025). [Electronic Resource. <https://magazine.sibur.ru/publication/trends/maleinovyy-angidrid-ot-stroitelstva-i-neftedobychi-do-farmatsevtiki/> (date of access: 26.10.2025). (Russian)]
- [4] J. Li Tian, X. Wang, L. Shi. Nickel and nickel–platinum as active and selective catalyst for the maleic anhydride hydrogenation to succinic anhydride. *Chemical Engineering Journal*. **2011**. No.175. C.417-422. DOI: 10.1016/j.cej.2011.09.082
- [5] Li J. Low-temperature hydrogenation of maleic anhydride to succinic4 anhydride and g-butyrolactone over pseudo-boehmite derived alumina supported metal (metal = Cu, Co and Ni) catalysts. J. Li, L.-P. Qian, L.-Y. Hu, B. Yue, H.-Y. He. *Chinese Chemical Letters*. **2016**. No.27. P.1004-1008. DOI: 10.1016/j.ccllet.2016.04.014
- [6] Jiandian Wang, Changyong Sun, Wenjun Xia, Zhou Cao, Guangzhe Sheng, Xiaowei Xie. Pd/BN catalysts for highly efficient hydrogenation of maleic anhydride to succinic anhydride. *Applied Catalysis A: General*. **2022**. No.630. 1184. DOI: 10.1016/j.apcata.2021.118474
- [7] Ma Y. Selective liquid-phase hydrogenation of maleic anhydride to succinic anhydride on biosynthesized Ru-based catalysts. Y. Ma, Y. Huang, Y. Cheng, L. Wang, X. Li. *Catalysis Communications*. **2014**. No.57. P.40-44. DOI: 10.1016/j.catcom.2014.08.014
- [8] Uwe Herrmann, Gerhard Emig. Liquid Phase Hydrogenation of Maleic Anhydride and Intermediates on Copper-Based and Noble Metal Catalysts. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. **1997**. Vol.36(8). P.2885-2896. DOI: 10.1021/ie960229g.
- [9] *Патент РФ* 2058311 МПК С 07 D307/60, С 07 С 55/10, 51/36. Способ получения янтарного ангидрида. Хейфец В.И., Селицкий А.П. и др.; ОАО «Научно-исследовательский и проектный институт с опытным заводом» Новочеркасский завод синтетических продуктов; опубл. 20.04.1996. [Patent RF 2058311 IPC C 07 D307/60, C 07 C 55/10, 51/36. Method for producing succinic anhydride. Kheifets V.I., Selitsky A.P. et al.; JSC "Research and Design Institute with a Pilot Plant "Novocherkassk Plant of Synthetic Products; publ. 20.04.1996. (Russian)]
- [10] Бабич О.О., Калашникова О.Б., Ульрих Е.В., Сухих С.А. Методы получения и применение янтарной кислоты в пищевой промышленности: обзор предметного поля. *Food MetaEngineering*. **2024**. Т.2. №2. С.35-43. DOI: 10.37442/fme.2024.2.41. [O.O. Babich, O.B. Kalashnikova, E.V. Ulrich, S.A. Sukhikh. Methods for the Production and Application of Succinic Acid in the Food Industry: A Review of the Subject Field. *Food MetaEngineering*. **2024**. Vol.2. No.2. P.35-43. DOI: 10.37442/fme.2024.2.41 (Russian)]
- [11] *Патент РФ* 2837565. Способ прямого гидрирования малеинового ангидрида с получением 1,4-бутандиола и янтарного ангидрида. Чжу Цзюньчэн, Сюй Чжиган, У Фэйкэ, ХЭ Чэнган, Чжан Цзуньян; опубл. 01.04.2025. [Patent RF 2837565. Method for the Direct Hydrogenation of Maleic Anhydride to Obtain 1,4-Butanediol and Succinic Anhydride. Zhu Juncheng, Xu Zhigang, Wu Feike, HE Chenggang, Zhang Zunliang; publ. 01.04.2025. (Russian)]
- [12] *Патент РФ* 2603777. Палладиевый катализатор, способ его приготовления и способ получения янтарной кислоты. Кулагина М.А., Симонов П.А., Романенко А.В., Бухтияров В.И.; опубл. 27.11.2016. [Patent RF 2603777. Palladium catalyst, method for its preparation and method for producing succinic acid. M.A. Kulagina, P.A. Simonov, A.V. Romanenko, V.I. Bukhtiyarov; published 27.11.2016. (Russian)]
- [13] *Патент РФ* 2 793 574. Способ получения 1,4-бутандиола и гамма-бутиролактона, и тетрагидрофурана, и катализатор для осуществления способа. Де Векки А.В., Маракаев С.Т., Маслов А.В.; опубл. 04.04.2023. [Patent RF 2 793 574. Method for producing 1,4-butanediol and gamma-butyrolactone, and tetrahydrofuran, and a catalyst for carrying out the method. A.V. De Vecchi, S.T. Marakaev, A.V. Maslov; published 04.04.2023. (Russian)]
- [14] Ахмедьянова Р.А., Шамсутдинов А.А., Королев Н.С. Синтез янтарного ангидрида гидрированием малеинового ангидрида. Выбор растворителя. *Материалах международной научной конференции, посвященной 100-летию акад. М. Мамедьярова «Современные проблемы нефтехимии и технологии масел»*, 26-27 сентября 2024 г., Баку. **2024**. С.175-176. [R.A. Akhmedyanova, A.A. Shamsutdinov,

- Полная исследовательская публикация** _____ Ахмедьянова Р.А., Шамсутдинов А.А., Васильева Э.А.
N.S. Korolev. Synthesis of succinic anhydride by hydrogenation of maleic anhydride. Choice of solvent. *The materials of the international scientific conference dedicated to the 100th anniversary of academician M. Mamedyarov "Modern problems of petrochemistry and oil technology"*, September 26-27, 2024, Baku. **2024**. P.175-176. (Russian)]
- [15] Raisa A. Akhmedyanova, Albert A. Shamsutdinov, Elina A. Vasilyeva. Synthesis of succinic anhydride by hydrogenation of maleic anhydride in the presence of heterogeneous industrial catalysts. *Butlerov Communications A*. **2025**. Vol.11. No.4. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-82/ROI-jbc-A/25-11-4-8
- [16] Ахмедьянова Р.А., Шамсутдинов А.А., Васильева Э.А. Синтез янтарного ангидрида гидрированием малеинового ангидрида в присутствии гетерогенных промышленных катализаторов. *Бутлеровские сообщения А*. **2025**. Т.11. №4. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-82/ROI-jbc-RA/25-11-4-8

The English version of the article have been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications A
Advances in Organic Chemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-A/25-11-4-8

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-82/ROI-jbc-A/25-11-4-8

Synthesis of succinic anhydride by hydrogenation of maleic anhydride in the presence of heterogeneous industrial catalysts

Raisa A. Akhmedyanova,^{1*} Albert A. Shamsutdinov,¹ Elina A. Vasilyeva²

¹ Department of Synthetic Rubber Technology; ² Department of Chemical Cybernetics
Kazan National Research Technological University. K. Marx St., 68. Kazan, 420015. Republic of Tatarstan.
Russia. Phone: ¹⁾ +7 917 291 0963. E-mail: ¹⁾ achra108@rambler.ru

*Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: succinic anhydride, maleic anhydride, hydrogenation, catalytic hydrogenation.

Abstract

The effectiveness of several industrial hydrogenation catalysts in the liquid-phase hydrogenation of maleic anhydride was evaluated. Hydrogenation of maleic anhydride in solution in the presence of heterogeneous catalysts is carried out in a Berghof autoclave reactor, a 230 ml metal vessel equipped with a thermal jacket and a heating element with a magnetic stirrer. The reactor is charged with calculated quantities of maleic anhydride, solvent, and catalyst. A hydrogen generator serves as the hydrogen source. Hydrogen is fed into the reactor through a polypropylene tube immersed in the reaction mixture. The hydrogen generator is equipped with an electronic display that displays the pressure applied and achieved in the reactor, as well as the hydrogen feed rate. Temperature is controlled by a thermocouple, and the temperature readings are also displayed on the display. Quantitative and qualitative analysis of the maleic anhydride hydrogenation reaction mixture was performed using a KristalLux-4000M chromatograph with a flame ionization detector.

For liquid-phase hydrogenation, a solvent was selected that would provide optimal reaction conditions and avoid side reactions. Experiments showed that dioxane best meets these requirements, and ensures production of succinic anhydride in the presence of a number of industrial hydrogenation catalysts.

The palladium catalyst KPSH-1.5 exhibits the best process parameters: conversion and selectivity for succinic anhydride.

It was found that during the hydrogenation of maleic anhydride to succinic anhydride in a dioxane medium at a hydrogen pressure of 0.4 MPa in the presence of the KPSH-1.5 catalyst, the optimal catalyst concentration is 4.2% by weight. Increasing the hydrogen : maleic anhydride molar ratio in the reaction mixture significantly accelerates the hydrogenation process and reduces the time of complete hydrogenation.