

Реконструкция аппаратного оформления производства изопропилбензола с целью выпуска этилбензола

Сергей В. Попов	¹	svpopov2018@ya.ru
Никита Ю. Крымкин	¹	krymkinnyu@mail.ru
Оксана В. Хабибрахманова	¹	chemicaluniversity@mail.ru
Евгения Н. Папуловских	¹	glazik.eva@mail.ru

¹ Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

Аннотация. Рассматривается аппаратное оформление узла ректификации производства изопропилбензола в присутствии катализатора AlCl_3 , использование которого имеет ряд проблем, связанных с его коррозионной активностью, быстрой дезактивацией, сложностью регенерации и т.д. Одним из возможных решений перечисленных технологических недостатков является использование гетерогенных цеолитсодержащих катализаторов. В этом случае при реконструкции действующего производства изопропилбензола в технологической схеме разделения алкилата высвобождаются три ректификационные колонны, которые целесообразно использовать для разделения алкилата производства этилбензола. Для исследования возможности использования высвобождающихся ректификационных колонн проведен вычислительный эксперимент с использованием моделирующей системы Honeywell UniSim Design, в которой сформировали модель узла разделения алкилата производства этилбензола. В качестве математического пакета для расчета термодинамических свойств компонентов смеси использовали метод NRTL. В результате моделирования работы узла разделения алкилата для каждой ректификационной колонны получены оптимальные режимные технологические параметры: давление верха и низа колонны, флегмовое число, температурный профиль по высоте колонны. В рассчитанном материальном балансе технологической схемы показано, что в первой ректификационной колонне достигается полное выделение бензола из реакционной массы алкилирования, вторая колонна обеспечивает получение товарного этилбензола, а в третьей колонне получено достаточно четкое разделение диэтилбензола от оставшихся компонентов смеси. Проведенный вычислительный эксперимент показал, что для организации стабильной работы технологической схемы разделения алкилата производства этилбензола возможно использование всех рассмотренных ректификационных колонн без изменения их конструктивных параметров при нагрузке по реакционной массе алкилирования порядка 60 т/час.

Ключевые слова: изопропилбензол, этилбензол, реакционная масса алкилирования, ректификационная колонна, Honeywell UniSim Design

Reconstruction of the hardware design for isopropylbenzene production for the production of ethylbenzene

Sergey V. Popov	¹	svpopov2018@ya.ru
Nikita Yu. Krymkin	¹	krymkinnyu@mail.ru
Oksana V. Khabibrakhmanova	¹	chemicaluniversity@mail.ru
Evgeniya N. Papulovskikh	¹	glazik.eva@mail.ru

¹ Samara State Technical University, Novokuibyshevsk branch, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

Abstract. The hardware design of the rectification unit for the production of isopropylbenzene in the presence of the AlCl_3 catalyst is considered, the use of which has a number of problems associated with its corrosiveness, rapid deactivation, the complexity of regeneration, etc. One of the possible solutions to the listed technological disadvantages is the use of heterogeneous zeolite-containing catalysts. In this case, during the reconstruction of the existing production of isopropylbenzene in the technological scheme of separation of alkylate, three rectification columns are released, which are expediently used to separate the alkylate of ethylbenzene production. To study the possibility of using the discharging distillation columns, a computational experiment was carried out using the Honeywell UniSim Design modeling system, in which a model of the alkylate separation unit for ethylbenzene production was formed. The NRTL method was used as a mathematical package for calculating the thermodynamic properties of the mixture components. As a result of modeling the operation of the alkylate separation unit for each distillation column, the optimal operating process parameters were obtained: pressure of the top and bottom of the column, reflux ratio, temperature profile along the height of the column. The calculated material balance of the technological scheme shows that in the first distillation column, complete separation of benzene from the alkylation reaction mass is achieved, the second column ensures the production of commercial ethylbenzene, and in the third column, a fairly clear separation of diethylbenzene from the remaining components of the mixture is obtained. The performed computational experiment showed that for the organization of the stable operation of the technological scheme for the separation of alkylate in the production of ethylbenzene, it is possible to use all the considered distillation columns without changing their design parameters at a load on the reaction mass of alkylation of about 60 t/h.

Keywords: isopropylbenzene, ethylbenzene, alkylation reaction mass, distillation column, Honeywell UniSim Design

Для цитирования

Попов С.В., Крымкин Н.Ю., Хабибрахманова О.В., Папуловских Е. Н. Реконструкция аппаратного оформления производства изопропилбензола с целью выпуска этилбензола // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 184–190. doi:10.20914/2310-1202-2021-2-184-190

For citation

Popov S.V., Krymkin N.Yu., Khabibrakhmanova O.V., Papulovskikh E.N. Reconstruction of the hardware design for isopropylbenzene production for the production of ethylbenzene. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 184–190. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-2-184-190

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Алкилбензолы имеют разностороннее применение в технологии основного органического и Нефтехимического синтеза, в частности из этилбензола синтезируют стирол, а основное количество производимого изопропилбензола идет на получение фенола и ацетона кумольным методом [1]. В промышленных условиях на ряде производств их получают алкилированием бензола олефинами (этиленом и пропиленом соответственно) в присутствии катализатора $AlCl_3$, использование которого имеет ряд проблем, связанных с его коррозионной активностью, быстрой дезактивацией, сложностью регенерации и т. д.

Одним из возможных решений перечисленных технологических Недостатков является использование гетерогенных цеолитсодержащих катализаторов [2]. При этом, при реконструкции действующего производства возможно высвобождение аппаратов технологической схемы процесса и появляется целесообразность их оптимального использования в других технологических схемах для получения иных товарных Нефтехимических продуктов.

Цель работы – анализ принципиальной возможности использования высвободившихся ректификационных аппаратов узла разделения алкилата производства изопропилбензола для разделения компонентов алкилата производства этилбензола и получения товарного этилбензола (при переходе на производстве изопропилбензола с катализатора $AlCl_3$ На гетерогенный цеолитсодержащий катализатор).

Материалы и методы

На рисунке 1 показана «типовая» технологическая схема узла разделения алкилата в производстве изопропилбензола с применением в качестве катализатора $AlCl_3$. На действующем производстве в результате перехода на использование при алкилировании бензола пропиленом цеолитсодержащих катализаторов будут задействованы колонны K12/1, K22/1, K32, следовательно колонны K42, K52 и K22/2 высвобождаются из технологической схемы (на рисунке 1 выделены цветом). Ниже рассматривается возможность их включения в технологическую схему производства этилбензола.

Дальнейшие исследования проводили с использованием моделирующей системы

Honeywell UniSim Design [3–5], в которой сформировали модель узла разделения реакционной массы алкилирования (РМА) производства этилбензола (рисунок 2). В качестве математического пакета для расчета термодинамических свойств компонентов смеси использовали метод NRTL [6–10].

В состав компонентов РМА входили бензол C_6H_6 , этилбензол $C_6H_5-C_2H_5$, диэтилбензол $C_6H_4-(C_2H_5)_2$, триэтилбензол $C_6H_3-(C_2H_5)_3$, тетраэтилбензол $C_6H_2-(C_2H_5)_4$, изопропилбензол $C_6H_5-C_3H_7$, дифенилэтан $(C_6H_5)_2-CH_2CH_3$, дифенилкарбинол $(C_6H_5)_2-CHOH$, смолы ПАБ, толуол, $AlCl_3$ и $Al(OH)_3$.

Система ректификационного разделения компонентов РМА (рисунок 2) рассматривается как «типовая» схема, где выделение компонентов смеси проводится последовательно с учетом их температур кипения. РМА из резервуара Насосом подается в колонну K-42-2 (поток **РМ Ана К42-2**), предназначенную для отгонки Непрореагировавшего бензола. С верхней части колонны поток возвратного бензола (поток **возвр Б-2**) рециркулирует на узел алкилирования бензола, кубовый продукт (поток **На К-22/2-2**) транспортируется на питание колонны K-22/2-2, где выделяется фракция товарного этилбензола (поток **ЭБ-2**). Кубовый продукт колонны K-22/2-2 Насосом Р-100-2 подается в колонну K-52-2, с Низа которой отбираются три-этилбензол и другие продукты (поток **триЭБ + ост 2**), а с верха колонны отбирается поток диэтилбензола (поток **диЭБ-2**).

Результаты и обсуждение

Использование высвобождающегося ректификационного оборудования в технологической схеме производства этилбензола имеет ряд особенностей. В частности, в сравнении с производством изопропилбензола существенно изменяется компонентный состав реакционной массы алкилирования, соответственно изменяется Назначение выделяемых фракций и способы их разделения, вместе с тем желательно максимально сохранить конструкционные параметры колонн и используемые контактные устройства. Если бы проводили проектный расчет технологической схемы без наличия ограничений На геометрию колонн, то было бы Необходимо определить оптимальные значения режимных параметров аппаратов (температуру T , давление P , флегмовое число R), обеспечивающих получение товарного этилбензола по ГОСТ, и геометрические размеры колонн для достижения заданной мощности производства. При использовании уже существующего оборудования для оценки мощности производства этилбензола необходимо учитывать расчетную гидродинамику аппарата при уже заданных геометрических размерах ректификационных колонн [11, 12].

Для моделирования работы всех колонн, показанных на рисунке 2, использовали их существующие конструкционные параметры.

В высвобождаемой колонне К-42–2 используются однопоточные клапанные тарелки FLEXITRAY с клапанами типа Т, число тарелок 68, расстояние между тарелками 350 мм, диаметр колонны $D = 3000$ мм, высота $H = 34550$ мм. В результате моделирования работы данной колонны получили следующие режимные технологические параметры: давление верха и Низа колонны $P_{\text{верх}} = 54$ кПа и $P_{\text{низ}} = 55.73$ кПа, флегмовое число $R = 0.68$; температура РМА $T_{\text{пит}} = 125^\circ\text{C}$.

Изменение температуры по высоте колонны показано на рисунке 3(а). Расчеты показали, что максимальная Нагрузка колонны по питанию может составлять $G_{\text{пит}} \approx 60$ т/час. Составы технологических потоков для всей схемы (рисунок 2) приведены в таблице 1. Видно, что в колонне К-42–2 достигается полное выделение непрореагировавшего бензола (столбец 3 таблица 1). Анализ потоков фаз в исчерпывающей и укрепляющей частях колонны (рисунок 3(б)) показывает на возможность использования аппарата одного диаметра.

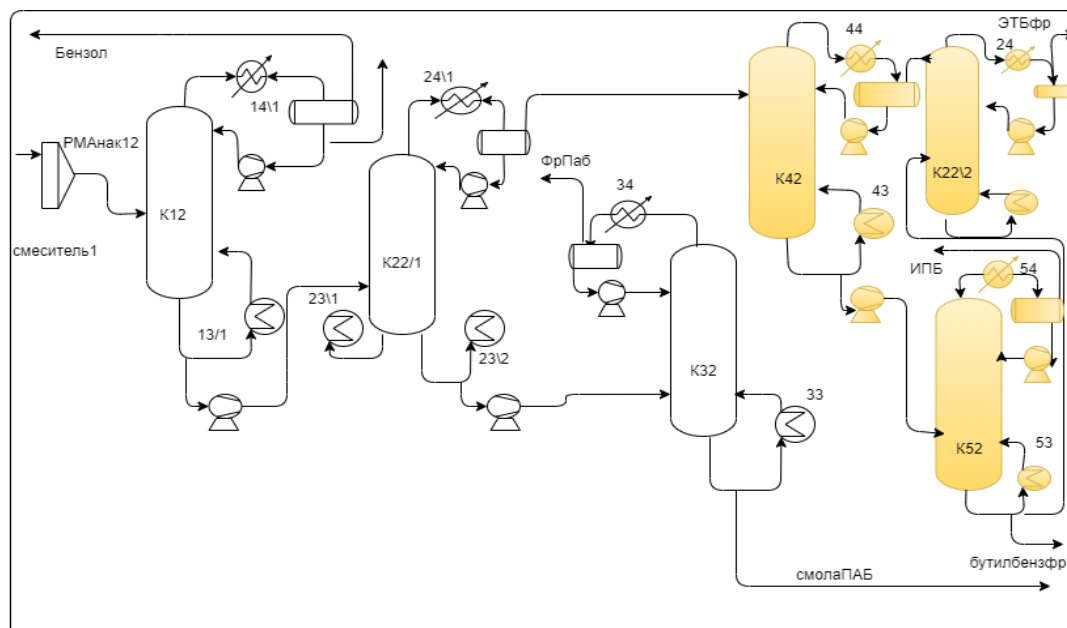


Рисунок 1. Технологическая схема узла ректификации производства изопропилбензола в присутствии хлоралюминиевого катализатора

Figure 1. Flow diagram of the rectification unit for the production of isopropylbenzene in the presence of an aluminum chloro catalyst

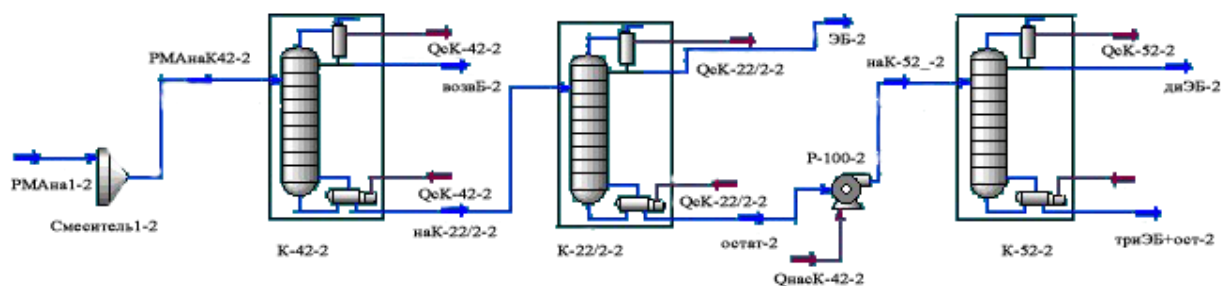
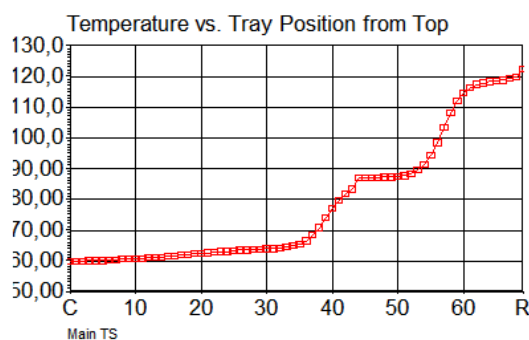


Рисунок 2. Технологическая схема узла ректификации производства этилбензола

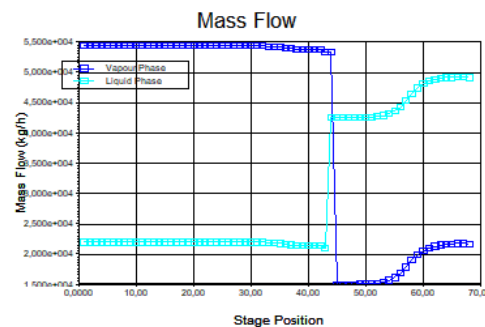
Figure 2. Process flow diagram of the ethylbenzene production rectification unit

Колонна К-22/2–2 предназначена для выделения фракции товарного этилбензола. В ней используются 60 колпачковых тарелок, расстояние между тарелками 400 мм, диаметр колонны $D = 3000$ мм, высота $H = 35300$ мм. Результаты моделирования работы колонны: давление верха и низа колонны $P_{\text{верх}} = 16$ кПа и $P_{\text{низ}} = 28$ кПа; температура Низа $T_{\text{низ}} = 140.4^\circ\text{C}$;

флегмовое число $R = 0.5$. При данных технологических режимах достигается достаточно четкое выделение этилбензола (столбец 4 таблица 1), содержание которого составляет 99.25% мас. Для рассматриваемой ректификационной колонны К-22/2–2 с учетом существующих конструктивных параметров для обеспечения её устойчивой работы также целесообразна нагрузка по РМА 60 т/час [13, 14].



(a)



(b)

Рисунок 3. Результаты моделирования ректификационной колонны К-42–2: (а) – изменение температуры по высоте колонны; (б) – потоки фаз в истощающей и укрепляющей частях колонны (распечатка в среде UniSim Design)

Figure 3. Results of modeling the distillation column K-42–2: (a) – temperature change along the column height; (b) – phase flows in the exhaustive and reinforcing parts of the column (printout in the UniSim Design environment)

Таблица 1.

Составы потоков технологической схемы (% мас.)

Table 1.

Compositions of flows of the technological scheme (% wt.)

Компонент смеси Blend component	Поток Flow РМанаК42–2	Поток Flow возврБ-2	Поток Flow ЭБ-2	Поток Flow диЭБ-2	Поток Flow триЭБ+
Бензол Benzene	63.34	99.83			
Этилбензол E-Benzene	27.18		99.25	0.37	
Диэтилбензол mDiEBenzene	6.76			92.36	
Триэтилбензол 135-E-BZ	1.29			1.98	61.30
Тетраэтилбензол 1234-E-BZ	0.17				9.33
Изопропилбензол Cumene	0.15			1.98	
Дифенилэтан DiPhenylC2	0.51				27.30
Дифенилкарбинол BZ-Phenone	0.04				2.07
Толуол Toluene	0.32	0.17	0.75		
$AlCl_3$	0.24			3.31	
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

На рисунке 4 показаны потоки фаз для колонны К-22/2–2. Их сравнение с аналогичными потоками колонны К-42–2 показывает, что в укрепляющей части колонн Наблюдаются близкие тенденции движения фаз, в то время как в истощающей части соотношение фаз по высоте аппарата заметно различаются, что связано с организацией в колоннах различающихся орошений. Вместе с тем, для колонны К-22/2–2 также имеется возможность использования аппарата одного диаметра [15–20].

В колонне К-52–2 (рисунок 2) осуществляется разделение фракции диэтилбензола от фракции триэтилбензола, составы потоков

приведены в таблице 1 (столбцы 5 и 6 соответственно). Используются 60 однопоточных клапанных тарелок FLEXITRAY с клапанами типа Т, диаметр колонны $D = 3000$ мм, высота $H = 35300$ мм. В результате проведения вычислительного эксперимента получили следующие технологические параметры: давление верха и низа колонны $P_{\text{верх}} = 25$ кПа и $P_{\text{низ}} = 30$ кПа, флегмовое число $R = 3.135$; температурный профиль по высоте колонны показан на рисунке 5.

Расчеты показывают, что геометрические размеры колонны К-52–2 дают возможность её работы в технологической схеме с нагрузкой по РМА 60 т/час.

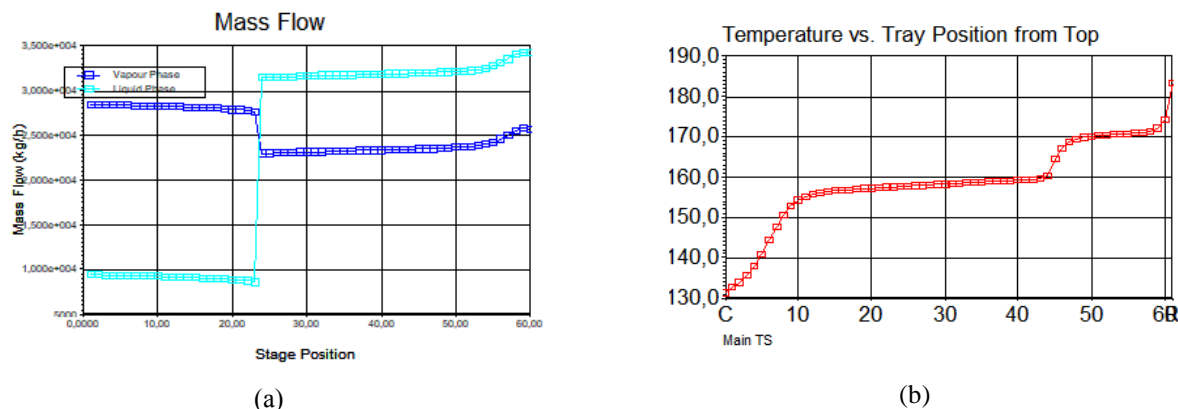


Рисунок 4. (a) – Поток фаз в истощающей и укрепляющей частях колонны К-22/2–2 (распечатка в среде UniSim Design); (b) – Изменение температуры по высоте колонны К-52–2 (распечатка в среде UniSim Design)
Figure 4. Phase flows in the exhaustive and reinforcing parts of the K-22 / 2–2 column (printout in the UniSim Design environment); (b) – Temperature change along the height of the K-52–2 column (printout in the UniSim Design environment)

Заключение

Проведенный вычислительный эксперимент по оценке возможности использования высвобождаемого оборудования узла ректификации РМА производства изопропилбензола для разделения РМА производства этилбензола

показывает, что для организации стабильной работы технологической схемы разделения РМА производства этилбензола возможно использование всех рассмотренных ректификационных колонн без изменения их конструктивных параметров при Нагрузке по РМА порядка 60 т/час.

Литература

- 1 Yang W., Wang Z., Sun H., Zhang B. Advances in development and industrial applications of ethylbenzene processes // *Chinese Journal of Catalysis*. 2016. V. 37. №. 1. P. 16-26. doi: 10.1016/S1872-2067(15)60965-2
- 2 Husson B., Ferrari M., Herbinet O., Ahmed S.S. et al. New experimental evidence and modeling study of the ethylbenzene oxidation // *Proceedings of the Combustion Institute*. 2013. V. 34. №. 1. P. 325-333. doi: 10.1016/j.proci.2012.06.002Get
- 3 Guo F., Yang P., Pan Z., Cao X.N. et al. Carbon- Doped BN Nanosheets for the Oxidative Dehydrogenation of Ethylbenzene // *Angewandte Chemie*. 2017. V. 129. №. 28. P. 8343-8347. doi: 10.1002/ange.201703789
- 4 Genuino H.C., Dharmarathna S., Njagi E.C., Mei M.C. et al. Gas-phase total oxidation of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes using shape-selective manganese oxide and copper manganese oxide catalysts // *The Journal of Physical Chemistry C*. 2012. V. 116. №. 22. P. 12066-12078. doi: 10.1021/jp301342f
- 5 Diao J., Liu H., Feng Z., Zhang Y. et al. Highly dispersed nanodiamonds supported on few-layer graphene as robust metal-free catalysts for ethylbenzene dehydrogenation reaction // *Catalysis Science & Technology*. 2015. V. 5. №. 11. P. 4950-4953. doi: 10.1039/C5CY01213A
- 6 Паппел К.Х. Моделирование работы промышленной установки получения этилбензола. 2016.
- 7 Терехин Р.М., Ривин Э.М. Использование топливных элементов в процессе дегидрирования этилбензола // *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2019. №. 4.
- 8 Романова Н.А., Дымова А.А., Шванкин А.М. Модернизация узла выделения этилбензола на основе высокоэффективных импортозамещающих регулярных насадок // *Евразийское Научное Объединение*. 2015. Т. 1. №. 4. С. 50-51.
- 9 Мирхайдарова К.А., Заруцкий С.А., Просочкина Т.Р. Процесс алкилирования на цеолитах // *Редакционная коллегия*. 2017. С. 85.
- 10 Кузичкин Н.В., Сладковский Д.А., Сладковская Е.В., Семикин К.В. Определение оптимальной структуры реакционно-ректификационной системы процесса алкилирования изобутана бутенами // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2018. №. 46. С. 22-27.
- 11 Рамазанов К.Р. Моделирование каталитического алкилятора получения прекурсора для синтеза различных полимеров // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2013. Т. 2. №. 1 (70).
- 12 Карпачев С.О., Гариева Ф.Р. Техническое перевооружение узла алкилирования бензола пропиленом // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. №. 2.
- 13 Гараев А.Р., Мусин Р.Р. Бифункциональный катализатор процесса алкилирования бензола пропиленом // *Вестник Казанского технологического университета*. 2016. Т. 19. №. 13.
- 14 Эрштейн А.С., Шавалеева Н.Н., Павлов М.Л., Басимова Р.А. Алкилирование бензола этан-этиленовой фракцией на новом цеолитсодержащем катализаторе // *Нефтегазовое дело*. 2013. Т. 11. №. 4. С. 165-170.
- 15 Берберов А.Б., Афонин Д.С., Борзаев Х.Х., Иванов Е.В. и др. Алкилирование бензола этиленом // *Башкирский химический журнал*. 2014. Т. 21. №. 1.

- 16 Gerzeliev I.M., Zhmylev V.P., Khusaimova D.O., Shkuropatov A.V. et al. Effect of Binder on the Properties of MWW Zeolite Catalysts in Benzene Alkylation with Propylene // *Petroleum Chemistry*. 2019. V. 59. №. 7. P. 695-700. doi: 10.1134/S0965544119070041
- 17 Bok T.O., Andriako E.P., Knyazeva E.E., Konnov S.V. et al. Influence of the Binder Type on the Properties of Nanocrystalline Zeolite Beta-Based Catalysts for Benzene Alkylation with Propylene // *Petroleum Chemistry*. 2018. V. 58. №. 10. P. 833-840. doi: 10.1134/S0965544118100195
- 18 Moliner M., Martínez C., Corma A. Multipore zeolites: synthesis and catalytic applications // *Angewandte Chemie International Edition*. 2015. V. 54. №. 12. P. 3560-3579. doi: 10.1002/anie.201406344
- 19 Saenluang K., Imyen T., Wannapakdee W., Suttipat D. et al. Hierarchical Nanospherical ZSM-5 Nanosheets with Uniform Al Distribution for Alkylation of Benzene with Ethanol // *ACS Applied Nano Materials*. 2020. V. 3. №. 4. P. 3252-3263. doi: 10.1021/acsanm.9b02568
- 20 Shi J., Wang Y., Yang W., Tang Y. et al. Recent advances of pore system construction in zeolite-catalyzed chemical industry processes // *Chemical Society Reviews*. 2015. V. 44. №. 24. P. 8877-8903. doi: 10.1039/C5CS00626K

References

- 1 Yang W., Wang Z., Sun H., Zhang B. Advances in development and industrial applications of ethylbenzene processes. *Chinese Journal of Catalysis*. 2016. vol. 37. no. 1. pp. 16-26. doi: 10.1016/S1872-2067(15)60965-2
- 2 Husson B., Ferrari M., Herbinet O., Ahmed S.S. et al. New experimental evidence and modeling study of the ethylbenzene oxidation. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2013. vol. 34. no. 1. pp. 325-333. doi: 10.1016/j.proci.2012.06.002Get
- 3 Guo F., Yang P., Pan Z., Cao X.N. et al. Carbon- Doped BN Nanosheets for the Oxidative Dehydrogenation of Ethylbenzene. *Angewandte Chemie*. 2017. vol. 129. no. 28. pp. 8343-8347. doi: 10.1002/ange.201703789
- 4 Genuino H.C., Dharmarathna S., Njagi E.C., Mei M.C. et al. Gas-phase total oxidation of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes using shape-selective manganese oxide and copper manganese oxide catalysts. *The Journal of Physical Chemistry C*. 2012. vol. 116. no. 22. pp. 12066-12078. doi: 10.1021/jp301342f
- 5 Diao J., Liu H., Feng Z., Zhang Y. et al. Highly dispersed nanodiamonds supported on few-layer graphene as robust metal-free catalysts for ethylbenzene dehydrogenation reaction. *Catalysis Science & Technology*. 2015. vol. 5. no. 11. pp. 4950-4953. doi: 10.1039/C5CY01213A
- 6 Pappel K.H. Modeling the operation of an industrial plant for the production of ethylbenzene. 2016. (in Russian).
- 7 Terekhin R.M., Rivin E.M. The use of fuel cells in the dehydrogenation of ethylbenzene. *Industrial production and the use of elastomers*. 2019. no. 4. (in Russian).
- 8 Romanova N.A., Dymova A.A., Shvankin A.M. Modernization of the ethylbenzene separation unit based on highly efficient import-substituting regular packings. *Eurasian Scientific Association*. 2015. vol. 1. no. 4. pp. 50-51. (in Russian).
- 9 Mirkhaidarova K.A., Zarutsky S.A., Prosochkina T.R. The process of alkylation on zeolites. *Editorial board*. 2017. pp. 85. (in Russian).
- 10 Kuzichkin N.V., Sladkovsky D.A., Sladkovskaya E.V., Semikin K.V. Determination of the optimal structure of the reaction-rectification system of the process of alkylation of isobutane with butenes. *Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*. 2018. no. 46. pp. 22-27. (in Russian).
- 11 Ramazanov K.R. Simulation of a catalytic alkylator for obtaining a precursor for the synthesis of various polymers. *Bulletin of the Saratov State Technical University*. 2013. vol. 2. no. 1 (70). (in Russian).
- 12 Karpachev S.O., Garieva F.R. Technical re-equipment of the benzene alkylation unit with propylene. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2015. vol. 18. no. 2. (in Russian).
- 13 Garaev A.R., Musin R.R. Bifunctional catalyst for the alkylation of benzene with propylene. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2016. vol. 19. no. 13. (in Russian).
- 14 Ershtein A.S., Shavaleeva N.N., Pavlov M.L., Basimova R.A. Alkylation of benzene with ethane-ethylene fraction on a new zeolite-containing catalyst. *Oil and Gas Business*. 2013. vol. 11. no. 4. pp. 165-170. (in Russian).
- 15 Berberov A.B., Afonin D.S., Borzaev Kh.Kh., Ivanov E.V. et al. Alkylation of benzene with ethylene. *Bashkir Chemical Journal*. 2014. vol. 21. no. 1. (in Russian).
- 16 Gerzeliev I.M., Zhmylev V.P., Khusaimova D.O., Shkuropatov A.V. et al. Effect of Binder on the Properties of MWW Zeolite Catalysts in Benzene Alkylation with Propylene. *Petroleum Chemistry*. 2019. vol. 59. no. 7. pp. 695-700. doi: 10.1134/S0965544119070041
- 17 Bok T.O., Andriako E.P., Knyazeva E.E., Konnov S.V. et al. Influence of the Binder Type on the Properties of Nanocrystalline Zeolite Beta-Based Catalysts for Benzene Alkylation with Propylene. *Petroleum Chemistry*. 2018. vol. 58. no. 10. pp. 833-840. doi: 10.1134/S0965544118100195
- 18 Moliner M., Martínez C., Corma A. Multipore zeolites: synthesis and catalytic applications. *Angewandte Chemie International Edition*. 2015. vol. 54. no. 12. pp. 3560-3579. doi: 10.1002/anie.201406344
- 19 Saenluang K., Imyen T., Wannapakdee W., Suttipat D. et al. Hierarchical Nanospherical ZSM-5 Nanosheets with Uniform Al Distribution for Alkylation of Benzene with Ethanol. *ACS Applied Nano Materials*. 2020. vol. 3. no. 4. pp. 3252-3263. doi: 10.1021/acsanm.9b02568
- 20 Shi J., Wang Y., Yang W., Tang Y. et al. Recent advances of pore system construction in zeolite-catalyzed chemical industry processes. *Chemical Society Reviews*. 2015. vol. 44. no. 24. pp. 8877-8903. doi: 10.1039/C5CS00626K

Сведения об авторах

Сергей В. Попов к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru

Никита Ю. Крымкин к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, krymkinnyu@mail.ru

Оксана В. Хабибрахманова к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

Евгения Н. Папуловских магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, glazik.eva@mail.ru

Вклад авторов

Сергей В. Попов разработал модели и провел вычислительный эксперимент

Никита Ю. Крымкин консультация в ходе исследования

Оксана В. Хабибрахманова консультация в ходе исследования

Евгения Н. Папуловских обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey V. Popov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, Novokuibyshevsk branch, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

Nikita Yu. Krymkin Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, Novokuibyshevsk branch, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, krymkinnyu@mail.ru

Oksana V. Khabibrakhmanova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, Novokuibyshevsk branch, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

Evgeniya N. Papulovskikh master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, Novokuibyshevsk branch, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, glazik.eva@mail.ru

Contribution

Sergey V. Popov developed models and conducted a computational experiment

Nikita Yu. Krymkin consultation during the study

Oksana V. Khabibrakhmanova consultation during the study

Evgeniya N. Papulovskikh review of the literature on an investigated problem

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 05/04/2021	После редакции 10/05/2021	Принята в печать 31/05/2021
Received 05/04/2021	Accepted in revised 10/05/2021	Accepted 31/05/2021