



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 398–404

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 398–404

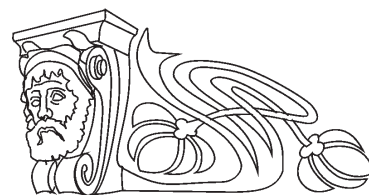
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-398-404>, EDN: EIJLEK

Научная статья

УДК 544.478.13

## Преобразование стабильного гидрогенизата на каталитических системах Pt/CVM, Pr/CVM



Е. А. Ашихмин, И. В. Внуков, С. Б. Ромаденкина ✉, Т. В. Аниськова

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Ашихмин Егор Александрович, магистрант Института химии, [ashikhmin.yegor@mail.ru](mailto:ashikhmin.yegor@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8317-6110>

Внуков Илья Владиславович, магистрант Института химии, [ilia\\_vnukov1999@mail.ru](mailto:ilia_vnukov1999@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8866-6370>

Ромаденкина Светлана Борисовна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры нефтехимии и техногенной безопасности, [romadenkina@yandex.ru](mailto:romadenkina@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7035-7193>

Аниськова Татьяна Владимировна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры нефтехимии и техногенной безопасности, [aniskovatv@mail.ru](mailto:aniskovatv@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1988-323X>

**Аннотация.** Каталитический риформинг является наиболее используемым методом облагораживания прямогонных бензинов. Тенденции модернизации каталитических систем для промышленной реализации процесса риформинга ориентированы на создание катализаторов с конкретным набором заданных свойств, которые дадут возможность получать жидкий товарный продукт с необходимыми эксплуатационными и экологическими характеристиками, а также увеличивать его выход при более низких температурах. Данная статья посвящена исследованию эффективности процесса превращения углеводородного сырья на каталитических системах Pt/CVM, Pr/CVM. В качестве носителя использован высокомолекулярный цеолит CVM (ZSM-5). В качестве сырья использовался стабильный гидрогенизат – продукт процесса гидроочистки, основное сырье процесса риформинг. Октановое число гидрогенизата составляет 63 пункта. Для автомобильных бензинов такое значение октанового числа неприемлемо. В результате превращения сырья получено жидкое топливо многокомпонентного состава с количеством углеродных атомов в цепи от 3 до 14, а также газы, содержащие углеводороды C<sub>1</sub> – C<sub>5</sub>. В данной работе при превращении стабильного гидрогенизата на исследуемых катализаторах с увеличением температуры растет величина ОЧ и содержание ароматики. Установлено, что с увеличением температуры уменьшается вклад реакций изомеризации вследствие уменьшения содержания изопарафинов. При превращении стабильного гидрогенизата на катализаторе Pt/CVM при температуре 400°C содержание бензола составляет 0,8 мас. %, что соответствует стандарту автобензина ЕВРО-5.

**Ключевые слова:** стабильный гидрогенизат, превращение, каталитический риформинг, катализаторы, бензин

**Для цитирования:** Ашихмин Е. А., Внуков И. В., Ромаденкина С. Б., Аниськова Т. В. Преобразование стабильного гидрогенизата на каталитических системах Pt/CVM, Pr/CVM // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 398–404. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-398-404>, EDN: EIJLEK

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Transformation of stable hydrogenate on catalytic systems Pt/CVM, Pr/CVM

E. A. Ashikhmin, I. V. Vnukov, S. B. Romadenkina ✉, T. V. Aniskova

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Egor A. Ashikhmin, [ashikhmin.yegor@mail.ru](mailto:ashikhmin.yegor@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8317-6110>

Ilya V. Vnukov, [ilia\\_vnukov1999@mail.ru](mailto:ilia_vnukov1999@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8866-6370>

Svetlana B. Romadenkina, [romadenkina@yandex.ru](mailto:romadenkina@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7035-7193>

Tatiana V. Aniskova, [aniskovatv@mail.ru](mailto:aniskovatv@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1988-323X>

**Abstract.** Catalytic reforming is the most used method for upgrading straight-run gasolines. The trends to modernize catalytic systems so that the reforming process can be used in the industrial setting are focused on the production of catalysts with a specific set of characteristics allowing to obtain a liquid commercial product with the required operational and ecological features, in addition to increase its yield at lower temperatures. This article investigates the efficiency of the catalytic systems Pt/CVM, Pr/CVM as transformation processes of raw hydrocarbons. A high molecular weight ZSM zeolite (ZSM-5) has been used as a carrier. The raw material that has been used is a stable hydrogenate obtained through hydrotreatment, which is the main raw material of the reforming process. The octane number of the hydrogenate is 63, which is not acceptable for automobile gasolines. The transformation of the crude material results in the production of liquid fuel made up of multiple components and carbon atoms in a chain ranging from 3 to 14 atoms, as well as gases containing hydrocarbons C<sub>1</sub> – C<sub>5</sub>. In this work, the transformation of a



stable hydrogenate on the catalysts under investigation has showed that temperature increase results in a higher octane number and aromatic content. It has been determined that temperature increase results in the reduction of the effects of the isomerization reaction, with a subsequent decrease in isoparaffinic content. With a transformation of a stable hydrogenate on the catalyst Pt/CVM at temperature of 400°C, the benzene content amounts to 0,8 wt. %, which corresponds to the EURO-5 automobile gasoline standard.

**Keywords:** stable hydrogenate, transformation, catalytic reforming, catalysts, gasoline

**For citation:** Ashikhmin E. A., Vnukov I. V., Romadenkina S. B., Aniskova T. V. Transformation of stable hydrogenate on catalytic systems Pt/CVM, Pr/CVM. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 398–404 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-398-404>, EDN: EIJLEK

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

В настоящее время каталитический риформинг является наиболее используемым методом облагораживания прямогонных бензинов. Практически на каждом современном нефтеперерабатывающем заводе имеются установки каталитического риформинга. Одна из основных задач этих предприятий – постоянная модернизация имеющихся установок с целью повышения объемов производства и усовершенствования качества товарного продукта. Одним из методов повышения качества продуктов является получение максимальных значений выхода катализата и его октанового числа (ОЧ) из-за повышения активности, стабильности и селективности применяемого катализатора [1].

Сегодняшние тенденции модернизации каталитических систем для промышленной реализации процесса риформинга ориентированы на создание катализаторов с конкретным набором заданных свойств, которые дадут возможность получать жидкий товарный продукт с необходимыми эксплуатационными и экологическими характеристиками, а также увеличивать его выход при более низких температурах [2].

Важнейшие реакции риформинга протекают согласно бифункциональному механизму, в соответствии с которым некоторые стадии одной и той же реакции идут либо на металлических, либо на кислотных центрах. Металл ускоряет реакции дегидрирования алканов в олефины, циклопарафинов – в циклоалкены и шестичленные нафтенов – в ароматические углеводороды. Непредельные углеводороды (продукты изомеризации и гидрокрекинга), перемещающиеся с кислотных центров на металлические, подвергаются на них гидрированию [3, 4].

На сегодняшний день существует большое количество применяемых катализаторов различного состава, таких как ПР-81 (содержание платины 0,3 мас. %, рейния 0,3 мас. %), R-254 (содержание платины 0,3 мас. %, рейния 1,0 мас. %), РФ-1 (содержание платины 0,25 мас. %, рейния 0,4 мас. %) и др. С каждым годом ужесточаются ЕВРО-стандарты, применяемые к моторным топливам, что приво-

дит к разработке новых каталитических систем, так как применимые каталитические системы не обеспечивают выход моторных топлив с требуемыми показателями [5–7].

Проведено исследование активности катализаторов Pt/ЦВМ (содержание платины 0,13 мас. %), Pt/ЦВМ (содержание празеодима 0,7 мас. %). При приготовлении данных катализаторов в качестве носителя использован высокомолекулярный цеолит ЦВМ (ZSM-5). Их отличительной чертой является очень узкое распределение пор по размерам (от 0,3 до 0,7 нм), такие поры способствует образованию малых ароматических молекул, а также препятствует синтезу и аккумуляции поликонденсированных ароматических соединений. Нанесение металла на носитель и определение количества фактически осевшего металла проводилось методом пропитки и дальнейшим изучением остаточного раствора спектрофотометрическим методом анализа [8, 9].

## Материалы и методы

Исследование активности данных катализаторов проводили на лабораторной установке проточного типа при атмосферном давлении в инертной среде, температурный режим 300–500°C. Скорость подачи сырья 8 мл/ч, объем загруженного катализатора 8 см<sup>3</sup>. Полученные жидкие продукты многокомпонентного состава с количеством углеродных атомов в цепи от 3 до 14 и газы, содержащие углеводороды C<sub>1</sub> – C<sub>5</sub>, исследованы на хроматографе «Кристалл-5000» с программированием температуры с 35 до 250°С. Расчет осуществлялся с помощью программы «Хроматэк Аналитик», которая позволяет установить детальный состав полученных смесей, относительную плотность, фракционный состав и октановое число продукта. В качестве сырья использовался стабильный гидрогенизат – продукт процесса гидроочистки, основное сырье процесса риформинг [10, 11].

## Результаты и их обсуждение

В групповом составе гидрогенизата доминируют алканы и циклоалканы. Содержание ароматических соединений крайне мало



(7 мас. %), но за счет наличия в смеси изо-парафинов (21 мас. %) октановое число сырья составляет 63 пункта. Для автобензинов такое значение октанового числа неприемлемо [12].

В табл. 1 представлен материальный баланс превращения стабильного гидрогенизата на двух каталитических системах.

Потери составляют менее 3%.

Таблица 1 / Table 1

**Материальные балансы превращения стабильного гидрогенизата на катализаторах Pt/ЦВМ, Pr/ЦВМ**  
**Material balances for the transformation of the hydrogenate on Pt/CVM and Pr/CVM catalytic systems**

Приход Before			Расход After	Pt/ЦВМ Pt/CVM						Pr/ЦВМ Pr/CVM					
				300°C		400°C		500°C		300°C		400°C		500°C	
Масса Mass	г g	%	Масса Mass	г g	%	г g	%	г g	%	г g	%	г g	%	г g	%
Стабильный гидрогенизат Hydrogenate	6,0	100,0	Жидкие продукты Liquid product	3,9	65,0	2,6	43,3	1,9	31,7	3,2	53,3	2,4	40,0	1,7	28,3
			Газовые продукты Gaseous product	2,1	35,0	3,4	56,7	4,1	68,3	2,8	46,7	3,6	60,0	4,3	71,7
Сумма Sum	6,0	100,0	Сумма Sum	6,0	100,0	6,0	100,0	6,0	100,0	6,0	100,0	6,0	100,0	6,0	100,0

В табл. 2 представлены составы газообразных продуктов превращения стабильного гидрогенизата на катализаторах Pt/ЦВМ, Pr/ЦВМ.

В результате превращения углеводородного сырья с увеличением температуры наблюдается увеличение выхода газообразных продуктов с

31,7 до 65,0 мас. % (выход  $H_2$  увеличивается на 1,2 мас. %,  $CH_4$  на 4,1 мас. %) на катализаторе Pt/ЦВМ; с 44,6 до 68,3 мас. % (выход  $H_2$  увеличивается на 5,3 мас. %,  $CH_4$  на 14,6 мас. %) на катализаторе Pr/ЦВМ, что свидетельствует об увеличении вклада реакций гидрокрекинга.

Таблица 2 / Table 2

**Состав газообразных продуктов превращения углеводородного сырья**  
**Gaseous product composition of the transformation of hydrocarbon raw materials**

Компонент Component	Выход продуктов, мас. % Product yield, wt. %					
	Pt/ЦВМ Pt/CVM			Pr/ЦВМ Pr/CVM		
	300°C	400°C	500°C	300°C	400°C	500°C
$H_2$	–	–	1.3	–	7.6	5.5
$CH_4$	1.0	0.6	5.3	0.5	8.3	15.8
$CO_2$	9.6	–	0.3	8.5	0.8	–
$C_2H_4$	–	0.7	6.4	5.0	2.4	10.8
$C_2H_6$	–	2.6	35.3	0.7	17.5	24.6
$C_3H_6$	64.5	76.4	29.0	60.5	58.1	39.3
$C_3H_8$	–	–	19.3	3.1	–	–
$C_4H_{10}$	22.3	19.1	2.5	19.6	5.2	3.8
$C_5H_{12}$	1.6	–	–	0.8	–	–
Итого / Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



В табл. 3 и 4 представлен основной групповой состав продуктов превращения стабильного гидрогенизата. Из табл. 3, 4 можно сделать вывод, что с повышением температуры процесса

содержание в риформате парафинов изо- и нормального строения уменьшается, а содержание ароматических соединений, наоборот, увеличивается.

Таблица 3 / Table 3

**Основной групповой состав продуктов превращения стабильного гидрогенизата на цеолитном катализаторе Pt/ЦВМ**  
**The main group composition of the products of the transformation of a stable hydrogenate on a zeolite catalytic systems Pt/CVM**

Компоненты Components	Выход продуктов, мас. % Product yield, wt. %		
	300°C	400°C	500°C
Ароматические углеводороды Benzene hydrocarbons	8,1	26,0	34,9
Бензол / Benzene	2,9	0,8	3,7
н-парафины C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> n-paraffineC <sub>4</sub> -C <sub>5</sub>	14,2	11,7	7,2
і-парафины C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> i-paraffineC <sub>4</sub> -C <sub>5</sub>	35,2	31,8	26,7
Октановое число (исследовательский метод) Rated Octane Number	87,1	95,7	102,4
Октановое число (моторный метод) Motor Octane Number	71,3	84,6	91,3

Таблица 4 / Table 4

**Основной групповой состав продуктов превращения стабильного гидрогенизата на празеодимсодержащем катализаторе Pr/ЦВМ**  
**The main group composition of the products of the transformation of a stable hydrogenate on the praseodymium-containing catalytic systems Pr/CVM**

Компоненты Components	Выход продуктов, мас. % Product yield, wt. %		
	300°C	400°C	500°C
Ароматические углеводороды Benzene hydrocarbons	6,6	9,7	27,2
Бензол / Benzene	3,2	1,2	3,8
н-парафины C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> n-paraffineC <sub>4</sub> -C <sub>5</sub>	32,7	22,8	11,2
і-парафины C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> i-paraffineC <sub>4</sub> -C <sub>5</sub>	29,2	22,9	8,2
Октановое число (исследовательский метод) Rated Octane Number	75,2	93,6	101,9
Октановое число (моторный метод) Motor Octane Number	68,1	81,0	90,0

Уменьшение доли продуктов изомеризации (с 35,2 до 26,7 мас. % на катализаторе Pt/ЦВМ; с 29,2 до 8,2 мас. % на катализаторе Pr/ЦВМ;) не влияет на значение ОЧ, так как уравновешивается высоким выходом ароматических соединений.

Но на исследуемых катализаторах значение доли изопарафинов остается на высоком уровне, что благотворно сказывается на экологической безопасности моторного топлива.



В данной работе при превращении сырья на исследуемых катализаторах с увеличением температуры растет величина ОЧ и содержание ароматики. Максимальные значения октановых чисел наблюдаются при 500° С, это объясняется

содержанием в риформате ароматических углеводородов и изоалканов, обладающих самой большой детонационной стойкостью.

Увеличение ароматических соединений отмечается для всех каталитических систем (рис. 1).

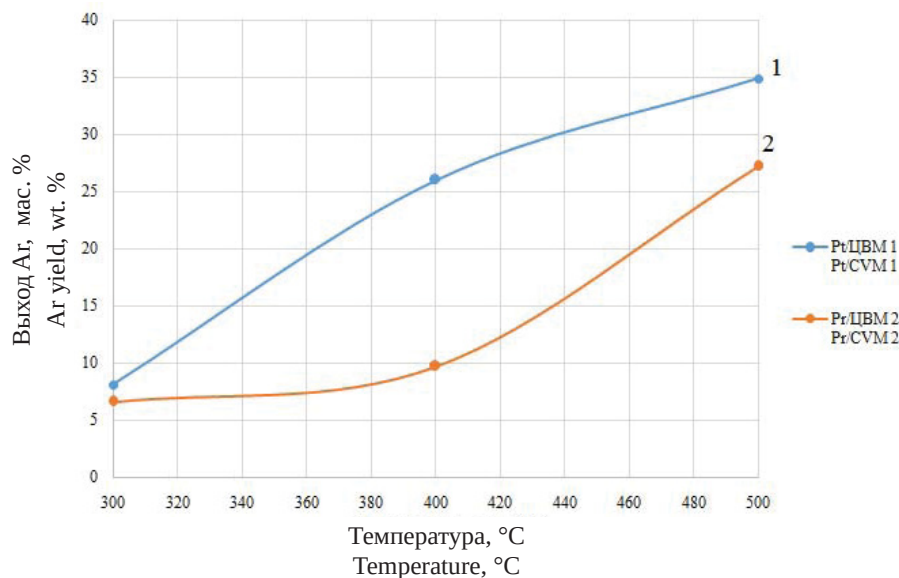


Рис. 1. Влияние температуры на выход ароматических углеводородов (цвет online)  
Fig. 1. The influence of temperature on the yield of aromatic hydrocarbons (color online)

Особым показателем моторных топлив является содержание бензола (рис. 2), который строго регламентируется ЕВРО-стандартами.

Из рис. 2 видно, что в моторном топливе, полученном на катализаторе Pt/ЦВМ при 400° С, содержание бензола наименьшее (0,8 мас. %), на других каталитических системах при всех тем-

пературах доля бензола превышает допустимые значения в 1 мас. %.

Необходимо отметить, что во всех сериях опыта образование кокса незначительно, что является немаловажным и позволяет говорить о большом межрегенерационном периоде данной цеолитной системы.

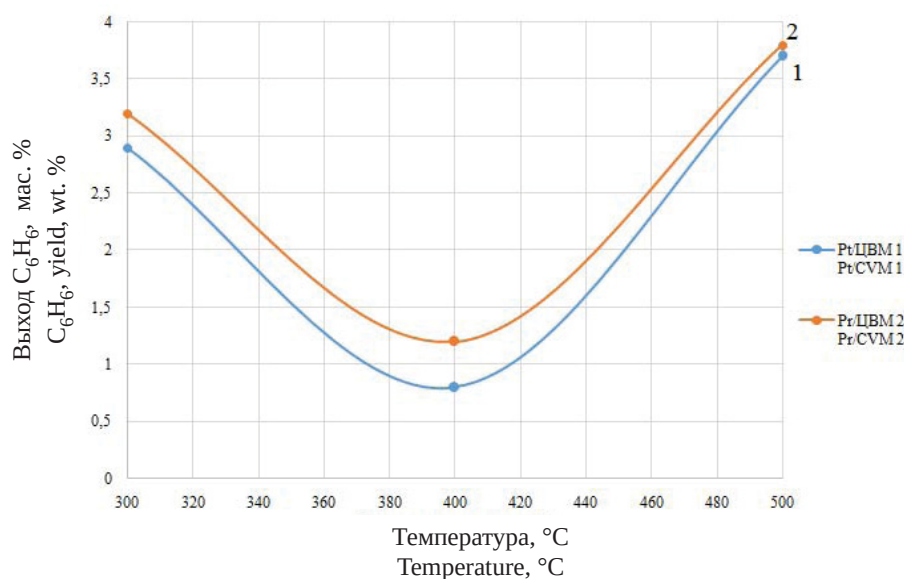


Рис. 2. Содержание бензола в продуктах (цвет online)  
Fig. 2. The content of benzene in products (color online)



### Заключение

Таким образом, установлено, что с увеличением температуры уменьшается вклад реакций изомеризации вследствие уменьшения содержания изопарафинов с 35,2 до 26,7 мас. % на катализаторе Pt/ЦВМ.

При превращении стабильного гидрогенизата на катализаторе Pt/ЦВМ при температуре 400°C содержание бензола составляет 0,8 мас. %, что соответствует стандарту автобензина ЕВРО-5.

При превращении стабильного гидрогенизата при температуре 400°C на катализаторе Pt/ЦВМ величина октанового числа составляет 95,7 пунктов по исследовательскому методу и 84,6 пунктов по моторному методу.

### Список литературы

1. Ганцев А. В., Аюпов Э. Р. Применение цеолитсодержащего катализатора в процессе каталитического риформинга // *Universum: Химия и Биология*. 2019. № 12 (66). С. 65–67.
2. Пат. 2626747 РФ. Катализатор изомеризации n-алканов в процессе риформинга гидроочищенных бензиновых фракций (варианты) / Фадеев В. В., Абрамова А. В., Герасимов Д. Н., Хемчан Л. Л., Логинова А. Н., Лямин Д. В., Петрова Е. Г., Уварова Н. Ю., Смолин Р. А. Оpubл. 31.07.2017. Бюл. № 22.
3. Красулина А. А., Макунина А. А., Ромаденкина С. Б. Превращение n-гексана на катализаторах с послойной загрузкой // *Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии: межвузовский сборник научных трудов XIII Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием*. Саратов: Саратовский источник, 2018. С. 219–221.
4. Агабеков В. Е., Косяков В. К. Нефть и газ: технологии и продукты переработки. Ростов н/Д: Феникс, 2014. 455 с.
5. Бакулина В. И., Воробьева Е. В. Пути оптимизации каталитического риформинга // *Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XVII Международной научно-технической конференции*. Рязань: Рязаньпроект, 2019. С. 397–399.
6. Георгиева Э. Ю., Михайлова М. Д., Мартынова А. В. Анализ эксплуатационных характеристик катализаторов риформинга // *Инновационные научные исследования: теория, методология, практика: сборник статей XVII Международной научно-практической конференции*. Пенза: Наука и Просвещение, 2019. С. 189–191.
7. Пат. 2728554 РФ. Устройство для обработки цеолита путем ионного обмена и способ получения катализатора с применением этого устройства / Герзелиев И. М., Темникова В. А., Басханова М. Н., Саитов З. А., Максимов А. Л. Оpubл. 30.07.2020. Бюл. № 22.
8. Бушуев Ю. Г. Цеолиты. Компьютерное моделирование цеолитных материалов. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2011. 104 с.
9. Пат. 2712077 С2 РФ. Способ получения катализатора и сам катализатор / Бауэр Ю., Дотцель Р., Мюнх Й. В. Заявка 2016141916 от 27.03.2015. Оpubл. 27.01.2020.
10. Семенкова Е. С., Ахмад М. Перспективы развития процесса каталитического риформинга // *Инновационные научные исследования: теория, методология, практика: сборник статей XX Международной научно-практической конференции*. Пенза: Наука и Просвещение, 2019. С. 57–59.
11. Брутер Д. В., Павлов В. С., Иванова И. И. Межцеолитные превращения, как метод синтеза цеолитных катализаторов // *Современные молекулярные сита*. 2021. № 1. С. 2–26. [https://doi.org/10.53392/27130304\\_2021\\_3\\_1\\_2](https://doi.org/10.53392/27130304_2021_3_1_2)
12. Иванов В. А., Ромаденкина С. Б. Превращение n-гексана в условиях каталитического риформинга // *Modern Science*. 2021. № 11, ч. 3. С. 30–36.
13. Аниськова Т. В., Ромаденкина С. Б., Кузьмина Р. И. Превращение стабильного катализата установки каталитического риформинга на катализаторе R-98 // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*. 2017. Т. 17, вып. 4. С. 394–396. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2017-17-4-394-396>

### References

1. Gantsev A. V., Ayupov E. R. Application of a zeolite-containing catalyst in the process of catalytic reforming. *Universum: Chemistry and Biology*, 2019, no. 12 (66), pp. 65–67 (in Russian).
2. Patent RU no. 2626747 of the Russian Federation. *Catalyst for isomerization of n-alkanes in the reforming process hydrotreated gasoline fractions (variants)*. Fadeev V. V., Abramova A. V., Gerasimov D. N., Khemchyan L. L., Loginova A. N., Lyamin D. V., Petrova E. G., Uvarova N. Yu., Smolin R. A. Publ. 31.07.2017, bull. no. 22 (in Russian).
3. Krasulina A. A., Makunina A. A., Romadenkina S. B. Transformation of n-hexane on catalysts with layered loading. In: *Modern problems of theoretical and experimental chemistry. Interuniversity collection of scientific papers of the XIII All-Russian Conference of Young Scientists with international participation*. Saratov, Saratovskiy ictchnik Publ., 2018, pp. 219–221 (in Russian).
4. Agabekov V. E., Kosyakov V. K. *Neft' i gaz: tekhnologii i produkty pererabotki* [Oil and Gas: Technologies and Processing Products]. Rostov-on-Don, Fenix Publ., 2014. 455 p. (in Russian).
5. Bakulina V. I., Vorobyeva E. V. Ways of optimizing catalytic reforming. In: *New Technologies in the Educational Process and Production: Materials of the XVII International Scientific and Technical Conference*. Ryazan, Ryazanproekt Publ., 2019, pp. 397–399 (in Russian).



6. Georgieva E. Yu., Mikhailova M. D., Martynova A. V. Analysis of operational characteristics of reforming catalysts. *Innovative scientific research: Theory, methodology, practice: Collection of articles of the XVII International Scientific and Practical Conference*. Penza, Nauka i Prosveshchenie Publ., 2019, pp. 189–191 (in Russian).
7. Pat. RU 2728554 of the Russian Federation. *A device for processing zeolite by ion exchange and a method for obtaining a catalyst using this device*. Gerzeliev I. M., Temnikova V. A., Baskhanova M. N., Saitov Z. A., Maksimov A. L. Publ. 30.07.2020, bull. no. 22 (in Russian).
8. Bushuev Yu. G. *Tseolity. Komp'yuternoye modelirovaniye tseolitnykh materialov* [Zeolites. Computer Modeling of Zeolite Materials]. Ivanovo, Ivanovo State University of Chemistry and Technology Publ., 2011. 104 p. (in Russian).
9. Pat. RU 2712077 C2. *The method of obtaining a catalyst and the catalyst itself*. Bauer Yu., Dotzel R., Munch J. V. Application 2016141916 dated 27.03.2015. Publ. 27.01.2020 (in Russian).
10. Semenkova E. S., Ahmad M. Prospects for the development of the catalytic reforming process. *Innovative scientific research: Theory, methodology, practice: Collection of articles of the XX International Scientific and Practical Conference*. Penza, Nauka i Prosveshchenie Publ., 2019, pp. 57–59 (in Russian).
11. Bruter D. V., Pavlov V. S., Ivanova I. I. Interzeolite transformations as a method of synthesis of zeolite catalysts. *Modern Molecular Sieves*, 2021, no. 1, pp. 2–26 (in Russian). [https://doi.org/10.53392/27130304\\_2021\\_3\\_1\\_2](https://doi.org/10.53392/27130304_2021_3_1_2)
12. Ivanov V. A., Romadenkina S. B. Transformation of n-hexane under conditions of catalytic reforming. *Modern Science*, 2021, no. 11, part 3, pp. 30–36 (in Russian).
13. Aniskova T. V., Romadenkina S. B., Kuzmina R. I. Transformation of a stable catalyzate of a catalytic reforming unit on an R-98 catalyst. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 4, pp. 394–396 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2017-17-4-394-396>

Поступила в редакцию 18.06.22; одобрена после рецензирования 30.08.22; принята к публикации 06.09.22

The article was submitted 18.06.22; approved after reviewing 30.08.22; accepted for publication 06.09.22