



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 2. С. 163–170

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 2, pp. 163–170

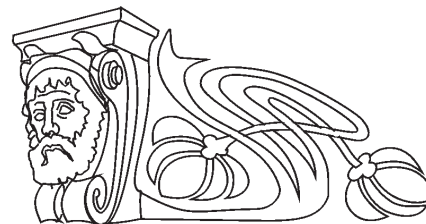
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-2-163-170>, EDN: ILWVXE

Научная статья

УДК 544.478.13

Влияние давления на состав продуктов каталитического превращения н-гексана



Е. А. Ашихмин ✉, В. С. Наумов, 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, <https://orcid.org/0000-0002-8317-6110>

Наумов Владислав Станиславович, магистрант Института химии, vladislav.naumov02@mail.ru

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

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

Аннотация. В настоящее время наиболее распространённым промышленным способом получения высококачественного бензина, характеризующегося высокими значениями октанового числа, с умеренным содержанием ароматических углеводородов и, в частности, бензола, является каталитический риформинг. В текущей тенденции развития нефтеперерабатывающей промышленности перспективным методом для облагораживания прямогонных моторных топлив является цеоформинг, где за счёт сочетания наиболее оптимальных параметров осуществляется получение высокооктановых бензинов с наилучшими эксплуатационными и экологическими характеристиками. Изучено влияние давления при превращении н-гексана на каталитической системе в диапазоне от 3 до 7 атм на выход и состав продуктов. Процесс проводился при температуре 450°C в инертной среде. В качестве носителя использован высокомолекулярный цеолит ЦВМ (ZSM-5). Гексан нормального строения использован в качестве сырья для изучения активности новой каталитической системы. Данное сырьё было выбрано в связи с тем, что он обладает способностью к реакции ароматизации, а также присутствует в сырье для получения моторных топлив – цеоформинг. Полученный газ содержит в своём составе углеводороды C₁–C₅. В данной работе определено, что увеличение давления на используемом катализаторе приводит к повышению октанового числа с 95.4 до 100.3 по исследовательскому методу и с 87.1 до 94.5 по моторному методу, за счёт увеличения в составе полученного катализа ароматических углеводородов и парафинов изомеризованного строения. Наибольшее значение октанового числа жидкого продукта достигается при давлении 7 атм.

Ключевые слова: химическая технология, нефтехимия, превращение, цеоформинг, катализаторы, моторное топливо, н-гексан, неодим

Для цитирования: Ашихмин Е. А., Наумов В. С., Ромаденкина С. Б., Аниськова Т. В. Влияние давления на состав продуктов каталитического превращения н-гексана // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 2. С. 163–170. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-2-163-170>, EDN: ILWVXE

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

Article

The influence of pressure on the composition of products from the catalytic conversion of n-hexane

Е. А. Ashikhmin ✉, V. S. Naumov, S. B. Romadenkina, T. V. Aniskova

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

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

Vladislav S. Naumov, vladislav.naumov02@mail.ru

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

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

Abstract. At present, the most common industrial method for producing high-quality gasoline, characterized by high octane numbers and moderate aromatic hydrocarbon content, particularly benzene, is catalytic reforming. In the current trend of oil refining industry development, a promising method for improving straight-run motor fuels is co-processing, where the combination of the most optimal parameters allows for the production of high-octane gasolines with the best performance and environmental characteristics. This work studies the effect of pressure



the conversion of n-hexane in a catalytic system in the range of 3 to 7 atm on the yield and composition of products. The process was conducted at a temperature of 450 °C in an inert atmosphere. A high molecular weight zeolite, ZSM-5, has been used as the support. n-Hexane has been used as the feedstock to study the activity of the new catalytic system. This feedstock has been chosen due to its ability to undergo aromatization reactions and its presence in the feed for producing motor fuels–co-processing. The obtained hydrocarbon gas contains carbon chain lengths from C₁ to C₅. This study has determined that increasing the pressure on the used catalyst leads to an increase in the octane number from 95.4 to 100.3 by the research method and from 87.1 to 94.5 by the motor method, due to an increase in the composition of aromatic hydrocarbons and isomerized paraffin hydrocarbons in the produced catalyst. The highest octane number is achieved at a pressure of 7 atm.

Keywords: chemical technology, petrochemistry, conversion, zeoforming, catalysts, motor fuel, n-hexane, neodymium

For citation: Ashikhmin E. A., Naumov V. S., Romadenkina S. B., Aniskova T. V. The influence of pressure on the composition of products from the catalytic conversion of n-hexane. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 2, pp. 163–170 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-2-163-170>, EDN: ILWVXE

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 к наиболее перспективным процессам вторичной переработки нефти относится цеоформинг. Одним из его важнейших критериев является ведение технологического режима при оптимальных параметрах процесса, благодаря чему достигаются наилучшие эксплуатационные и экологические характеристики товарного продукта. Таким образом, исследование влияния технологических параметров процесса цеоформинга при использовании различных углеводородов в качестве сырья на выход, фракционный состав, значение октанового числа получаемых продуктов является крайне актуальной задачей [1–3].

Одним из возможных способов повышения маржинальности процесса каталитического риформинга является снижение себестоимости выработки продукции путем применения менее дорогостоящих катализаторов.

На большинстве существующих установок каталитического риформинга применяются платиносодержащие катализаторы, модифицированные промоторами (Re, Pd, Sn). Одним из перспективных направлений в этой области является исследование катализаторов, не содержащих благородные металлы.

Известны исследования, направленные на риформирование н-гексана и н-гептана с применением цеолитсодержащих катализаторов, которые показывают, что интенсификация реакций ароматизации происходит в температурном диапазоне от 350 до 450 °C [4, 5].

Металлы V–VII группы обладают особой активностью в каталитических системах благодаря тому, что f-орбитали не полностью заполнены из-за специфической электронной атомной структуры. Данные металлы могут выступать в качестве металлических центров на поверхности катализатора [6–8].

Выбор в качестве сырья гексана нормального строения обусловлен рядом причин:

- способностью н-гексана вступать в реакции циклизации, в результате которых образуется бензол, содержание которого в товарном продукте согласно российским стандартам ограничивается 1,0 мас. %, вследствие образования из последнего канцерогенного бензопирена, при сгорании топлива;

- количеством атомов углерода в гексане, поскольку замечено, что углеводороды, имеющие в своей структуре значительное количество атомов углерода, с большей вероятностью подвергнутся превращению при аналогичных параметрах риформинга и цеоформинга;

- структурная симметрия и преобладающее количественное содержание н-гексана в промышленном сырье делают его идеальным выбором.

Материалы и методы

Процесс цеоформинга проводился на установке высокого давления (рис. 1).

Перед проведением экспериментов установка нагревалась до нужного температурного режима при помощи ТЕРМОДАТа под необходимым давлением в токе азота, подаваемого из баллона. При помощи ручки 34 регулятора давления РПС.2 выставляется необходимое давление, которое контролируется по манометру, установленному в корпусе регулятора, и далее через вентиль В3.4 подаётся в реакторную систему (см. рис. 1). Также производилось обезвоздушивание линий на насосе с помощью промывки жидком реагентом, который через клапан КР.3 сливался в приготовленную приёмную ёмкость. Через запорный клапан В3.5 и обратный клапан азот подаётся в каталитический реактор. На линии подачи установлен датчик давления, соединённый с прибором

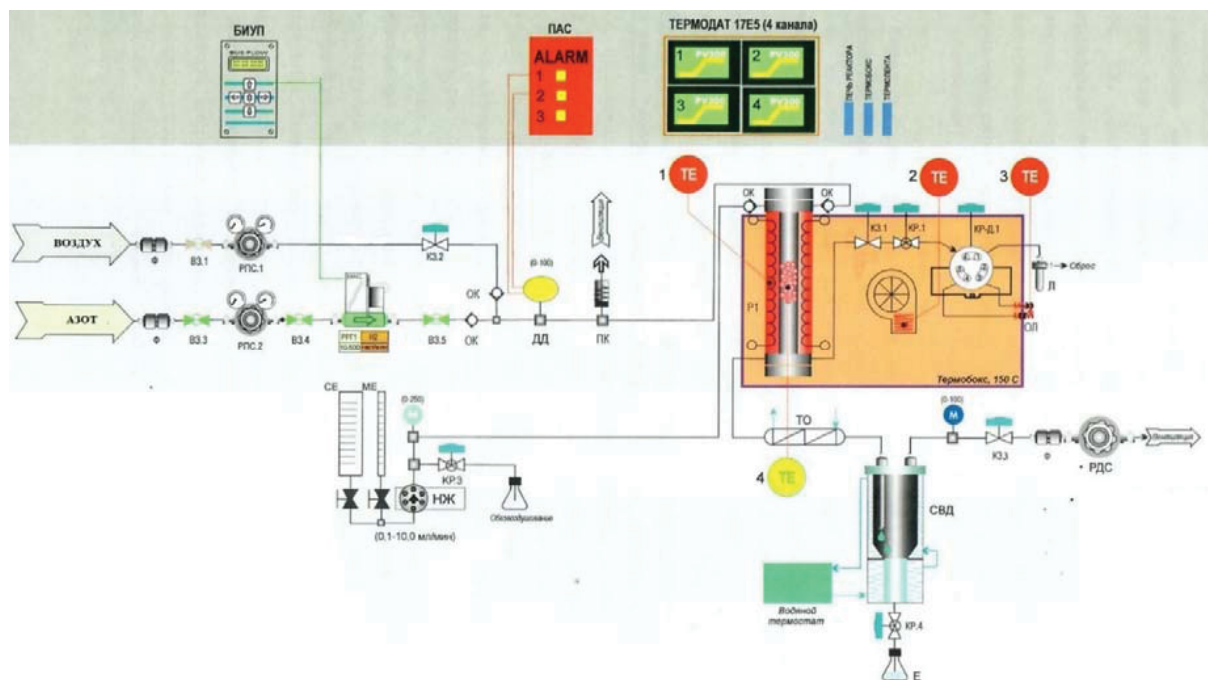


Рис. 1. Технологическая схема установки высокого давления: ВЗ – вентиль запорный, РПС – регулятор давления газа «после себя», СЕ – сырьевая смесь, МЕ – мерная емкость, НЖ – насос жидкостной дозировочный, Ф – противодыльный фильтр, РРГ – регулятор расхода газа, ОК – обратный клапан, М – манометр показывающий, МК – манометр контактный, ПК – предохранительный клапан, ТЕ – термоэлектрический преобразователь ТХА, Р – реактор высокого давления, ТО – трубчатый теплообменник, СВД – сепаратор высокого давления, КЗ – клапан запорный, КР – клапан регулирующий, ОЛ – обогреваемая лента, ДД – датчик давления, Е – емкость приемная, РДС – регулятор давления газа «до себя», БПИ – блок питания/ управления/ индикации, ПАС – прибор аварийной сигнализации, МРТ – микропроцессорный регулятор температуры (цвет онлайн)

Fig. 1. Technological diagram of a high-pressure installation: VZ – shut-off valve, RPS – gas pressure regulator ‘after itself’, SE – feedstock mixture, ME – measuring vessel, NJ – liquid dosing pump, F – dust filter, RRG – gas flow regulator, OK – check valve, M – pressure gauge, MK – contact pressure gauge, PK – safety valve, TE – thermoelectric transducer TХА, R – high-pressure reactor, TO – tubular heat exchanger, SVD – high-pressure separator, KZ – shut-off valve, KR – regulating valve, OL – heated tape, DD – pressure sensor, E – receiving vessel, RDS – gas pressure regulator “before itself”, BPI – power/control/indication unit, PAS – emergency alarm device, MRT – microprocessor temperature regulator (color online)

аварийной сигнализации и пружинным клапаном. При превышении или понижении давления на 10% датчик замыкает один из контактов и устройство ПАС обесточивает питание на установку с перекрыванием подачи газа с помощью предохранительного клапана. Жидкое исходное сырьё, из сырьевой ёмкости и мерной ёмкости, подключается к реакторной системе и подается на жидкостной насос. Реакторный блок состоит из реактора, электрической печи и системы обратных клапанов. Реакторный блок снабжён контролирующей термопарой, расположенной в слое катализатора. После превращения полученные продукты поступают в холодильник и сепаратор высокого давления, далее конденсат сливается через клапан регулирующий (КР.4) в приёмник конденсата Е. Газовый продукт выходит из сепаратора высокого давления через

боковой штуцер, клапан затворный (КЗ.3), редуктор обратного давления в газометр (см. рис. 1).

В результате цеоформинга сырья получены жидкие компоненты сложного состава, содержащие атомы углерода от 1 до 16, а также углеводороды $C_1 - C_5$ в газообразной фазе, которые проанализированы на хроматографах «Кристалл-2000» и «Кристалл-5000». Программное обеспечение «Chromatec Analytic» использовано для расчета подробного состава полученных смесей, относительной плотности, фракционного состава и октанового числа продукта [9].

Цеоформинг н-гексана осуществлялся на каталитической системе с добавлением редкоземельного активного компонента – неодима. Активный компонент наносился пропиточным методом в количестве 1,5 мас. % на высокомолекулярный цеолит. Приготовленные растворы для



пропитки тестировались на спектрофотометре SHIMADZUUV-1800 для определения массы осевшего активного компонента на носитель [10, 11]. Получен катализатор Nd/ЦВМ с содержанием активного компонента 0,6 % мас.

Необходимо отметить, что процесс превращения углеводородного сырья проводился при температуре 450° С, так как данное значение входит в рабочий температурный диапазон процесса цеоформинга и позволяет достичь наиболее оптимальных эксплуатационных и экологических характеристик конечного продукта.

Результаты и их обсуждение

Эксперименты по превращению н-гексана осуществляли на установке высокого давления в присутствии катализатора Nd/ЦВМ

в течение 1 ч при температуре 450° С, при давлении 3–7 атм (шаг 2 атм) в среде азота, скорость подачи газа 2 л/ч, объем загруженного катализатора 8 см³. Активация катализатора Nd/ЦВМ проходила в течение 2 ч в токе воздуха при температуре 500°С.

Результаты превращения н-гексана на каталитической системе при температуре 450° С и различных давлениях (3, 5 и 7 атм) отображены в материальных балансах процессов (табл. 1).

На основании анализа данных табл. 1 можно говорить о том, что повышение давления приводит к понижению выхода жидкого катализата, и, следовательно, выход газообразных продуктов, наоборот, увеличивается. Снижение рабочего давления в реакторах установки каталитического риформинга способствует увеличению выхода целевого продукта, однако снижается срок службы катализатора.

Таблица 1 / Table 1

Материальный баланс превращения н-гексана при температуре 450° С и различных давлениях
The material balance of n-hexane transformation at a temperature of 450°С and various pressures

Приход / Before			Расход / After						
Вещество / Substance	г / g	%	Продукты Products	3 атм / atm		5 атм / atm		7 атм / atm	
				г / g	%	г / g	%	г / g	%
н-гексан / n-hexane	200.0	100.0	Жидкие продукты / Liquid product	73.4	36.7	76.7	38.3	70.0	35.0
			Газовые продукты / Gaseous product	118.6	59.3	120.0	60.0	128.2	64.1
			Потери / Losses	8.0	4.0	3.3	1.7	1.8	0.9
Сумма / Sum	200.0	100.0	Сумма / Sum	200.0	100.0	200.0	100.0	200.0	100.0

В табл. 2 представлены данные о влиянии давления на степень превращения исходного сырья на каталитической системе Nd/ЦВМ при температуре 450° С.

Таблица 2 / Table 2

Степень превращения н-гексана при температуре 450°С и разных давлениях
The degree of conversion of n-hexane at a temperature of 450°С and different pressures

Давление процесса, атм / Process pressure, atm	Степень превращения, % / Degree of conversion, %
3	98.0
5	97.5
7	98.0

Данные, представленные в табл. 2, позволяют сделать вывод, что на данном катализаторе при всех изучаемых параметрах процесса достигается степень превращения не менее 97%. Повышение давления в процессе превращения н-гексана на катализаторе Nd/ЦВМ не оказывает значительного влияния на степень превращения.

В табл. 3 представлены данные по составу газообразных продуктов превращения н-гексана при различном давлении.

В результате превращения углеводородного сырья с увеличением давления до 7 атм наблюдается увеличение выхода легких газообразных продуктов (таких как водорода с 2,1 до 6,7; метана с 2,6 до 7,2; этилена с 3,8 до 4,5 и пропена с 17,5 до 40,7) и уменьшение



Таблица 3 / Table 3

Состав газообразных продуктов превращения углеводородного сырья при температуре 450° С при разных давлениях
The composition of gaseous products from the conversion of hydrocarbon feedstock at a temperature of 450° C under different pressures

Компонент / Component	Выход продуктов, % мас. / Product output, % by mass		
	3 атм / atm	5 атм / atm	7 атм / atm
H ₂	2.1	4.7	6.7
CH ₄	2.6	3.6	7.2
C ₂ H ₄	3.8	4.5	–
C ₂ H ₆	2.4	10.1	2.4
C ₃ H ₆	17.5	15.3	40.7
C ₃ H ₈	58.1	51.7	35.7
C ₄ H ₁₀	–	–	2.1
C ₅ H ₁₂	13.5	10.1	5.2
Итого / Total	100.0	100.0	100.0

более тяжелых (пентан с 13,5 до 5,2), что свидетельствует об увеличении вклада реакций крекинга.

В табл. 4 приведен основной групповой состав жидких продуктов превращения при превращении н-гексана при различных давлениях.

Таблица 4 / Table 4

Основной групповой состав продуктов превращения нормального гексана на цеолитном катализаторе при температуре 450° С при разных давлениях
The main group composition of the products from the conversion of normal hexane over a zeolite catalyst at a temperature of 450° C under different pressures

Компоненты продуктов / Product Components	Выход продуктов, % мас. / Product output, % by mass		
	3 атм / atm	5 атм / atm	7 атм / atm
Ароматические углеводороды / Aromatic Hydrocarbons	48.3	51.4	59.1
Бензол / Benzene	6.1	7.2	3.2
н-парафины n-Paraffins	10.7	6.9	4.1
і-парафины i-Paraffins	13.0	15.7	19.8
Нафтыны Naphthenes	11.3	9.7	7.2
Олефины Olefins	10.6	9.1	6.6
Итого Total	100,0	100,0	100,0

Из представленных в табл. 4 данных можно сделать вывод, что с повышением давления процесса содержание в жидком продукте парафинов

нормального строения и бензола уменьшается, а содержание изопарафинов и ароматических соединений, наоборот, увеличивается (рис. 2).

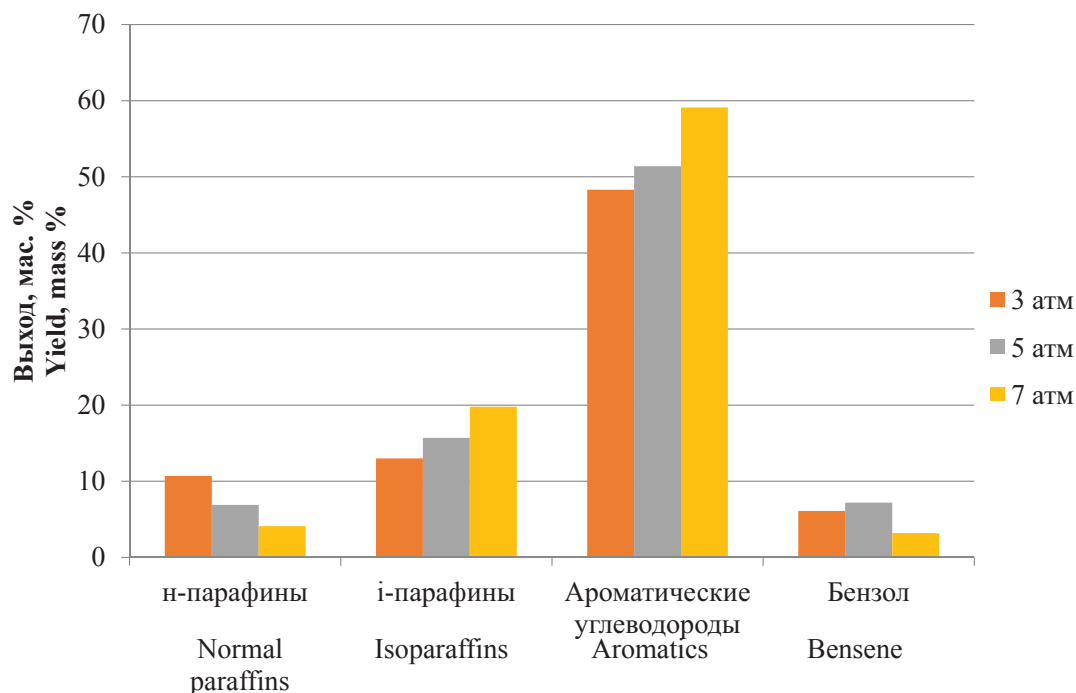


Рис. 2. Влияние давления на выходы продуктов катализатора (цвет онлайн)
 Fig. 2. The influence of pressure on the yields of catalyst products (color online)

Анализ данных диаграммы позволяет говорить о превалировании в жидком продукте углеводородов ароматического строения, что способствует увеличению октанового числа полученного бензина.

Содержание бензола в моторном топливе является особым показателем, который строго регламентируется стандартами ЕВРО. Из диаграммы видно, что наименьшее содержание бензола в полученном продукте наблюдается при температуре 450° С и давлении 7 атм, но данные показатели превышают допустимые значения в 1 мас. %.

Незначительное образование коксовых отложений в результате превращений позволяет говорить о большом межрегенерационном периоде исследуемых каталитических систем.

Октановое число является важным эксплуатационным свойством бензинов. Зависимость изменения октанового числа в зависимости от давления на изучаемой каталитической системе представлена в табл. 5.

Максимальные значения октановых чисел наблюдаются при 7 атм, это объясняется содержанием в риформате углеводородов арома-

Таблица 5 / Table 5

Зависимость октанового числа цеоформата по исследовательскому и моторному методу, полученного на катализаторе Nd/ЦВМ при различном давлении
The dependence of the octane number of ceroformate by research and motor methods obtained on the Nd/CVM catalyst at different pressures

Давление процесса, атм / Process pressure, atm	Октановое число / Octane number	
	Исследовательский метод / Research method	Моторный метод / Motor method
3	95.4	87.1
5	98.1	92.5
7	100.3	94.9



тического строения и парафинов изомерного строения, обладающих самой большой детонационной стойкостью.

Таким образом, установлено, что при температуре 450° С и давлении 7 атм наблюдаются оптимальные выходы ароматических соединений (59.1 мас. %), изопарафинов (14.1 мас. %) и бензола (3.2 мас. %), величина октанового числа составляет 100.3 пунктов по исследовательскому методу и 94.9 пунктов по моторному методу, степень конверсии – 98%.

Список литературы

1. Алтынов А. А., Богданов И. А., Киргина М. В. Исследование влияния температуры процесса цеоформинга на состав получаемых продуктов // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XX Междунар. науч.-практ. конф. им. профессора Л. П. Кулёва студентов и молодых ученых (Томск, 20–23 мая 2019 г.). Томск : ТПУ, 2019. С. 335–336.
2. 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>
3. Внуков И. В., Ашихмин Е. А., Ромаденкина С. Б., Аниськова Т. В. Исследование активности бифункциональных катализаторов на превращение н-гексана // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23, вып. 3. С. 272–279. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-3-272-279>, EDN: XVTDKC
4. Пат. 2493910 Российская Федерация. Цеолитсодержащий катализатор, способ его получения и способ превращения прямогонной бензиновой фракции в высокооктановый компонент бензина с низким содержанием бензола / В. И. Ерофеев, Л. А. Егорова, М. В. Ерофеев. Заявка № 2012130514/04 от 17.07.20124; опублик. 27.09.2013, Бюл. № 27.
5. Величина Л. М. Отечественные технологии безводородной переработки низкооктановых бензиновых фракций на цеолитсодержащих катализаторах // Химическая технология. 2008. Т. 9, № 4. С. 158–166.
6. Пат. 2635353 Российская Федерация. Катализатор для риформинга бензиновых фракций и способ его приготовления / А. С. Белый, И. Е. Удрас, М. Д. Смоликов, Е. В. Затолокина, Д. И. Кирьянов, Е. А. Белоухов, Д. О. Кондрашев, А. В. Клейменов, А. М. Егизарьян. Заявка № 2016146253 от 24.11.2016; опублик. 13.11.2017, Бюл. № 32.
7. Ашихмин Е. А., Внуков И. В., Ромаденкина С. Б., Аниськова Т. В. Превращение стабильного гидрогенизата на каталитических системах Pt/ЦВМ,

Pt/ЦВМ // 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

8. Муниров Т. А., Давлетшин А. Р., Ахметов А. Ф., Шириязданов Р. Р., Хамзин Ю. А., Ганцев А. В., Амангельдиев Д. М. Исследование процесса ароматизации сырья риформинга на цеолитсодержащем катализаторе // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2018. № 5. С. 58–77. <https://doi.org/10.17122/ogbus-2018-5-58-77>
9. Быков Р. А., Быкова В. В. Оценка термодинамической вероятности превращений углеводородов стабильного газового конденсата в процессе цеоформинга // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXIV Международного симпозиума им. академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне : в 2 т. (Томск, 6–10 апреля 2020 г.). Томск : ТПУ, 2020. Т. 2. С. 276–277.
10. Иванцова Е. А. Фотоколориметрический метод // Проблемы науки. 2015. № 1. С. 5–7.
11. Пат. 2712077 Российская Федерация. Способ получения катализатора и сам катализатор / Ю. Бауэр, Р. Дотцель, Й. В. Мюнх. Заявка № 2016141916 от 27.03.2015; опублик. 27.01.2020, Бюл. № 3.

References

1. Altynov A. A., Bogdanov I. A., Kirgina M. V. Study of the influence of process temperature in zeoforming on the composition of products obtained. In: *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya v XXI veke: materialy XX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. im. professora L. P. Kuleva studentov i molodykh uchenykh* [Chemistry and Chemical Technology in the 21st Century: Proceedings of the 20th International scientific and practical conference named after professor L. P. Kulev for students and young scientists (Tomsk, May 20–23, 2019)]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2019, pp. 335–336 (in Russian).
2. Aniskova T. V., Romadenkina S. B., Kuzmina R. I. Transformation of a stable catalyst of catalytic riforming facility with using the catalyst R-98. *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>
3. Vnukov I. V., Ashikhmin E. A., Romadenkina S. B., Aniskova T. V. Study of the activity of bifunctional catalyzers on the transformation of n-hexane. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2023, vol. 23, iss. 3, pp. 272–279 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-3-272-279>, EDN: XVTDKC
4. Patent 2493910 RF. Zeolite-containing catalyst, method for its production, and method for converting straight-run gasoline fractions into a high-octane gasoline component with low benzene content. V. I. Erofeev,



- L. A. Egorova, M. V. Erofeev. Application no. 2012-130514/04 dated 17.07.2012; published 27.09.2013, Bulletin no. 27 (in Russian).
5. Velichkina L. M. Domestic technologies for non-hydrogen processing of low-octane gasoline fractions on zeolite-containing catalysts. *Chemical Technology*, 2008, vol. 9, no. 4, pp. 158–166 (in Russian).
 6. Patent 2635353 RF. *Catalyst for reforming gasoline fractions and method for its preparation*. A. S. Belyi, I. E. Udras, M. D. Smolikov, E. V. Zatolokina, D. I. Kir'yanov, E. A. Belopukhov, D. O. Kondrashev, A. V. Kleimenov, A. M. Egizar'yan. Application no. 2016146253 dated 24.11.2016; published. 13.11.2017, Bulletin no. 32.
 7. 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
 8. Munirov T. A., Davletshin A. R., Akhmetov A. F., Shiriyaazdanov R. R., Khamzin Yu. A., Gantsev A. V., Amangeldiev D. M. Study of the raw material aromatization process in reforming on a zeolite-containing catalyst. *Electronic Scientific Journal on Oil and Gas*, 2018, no. 5, pp. 58–77. <https://doi.org/10.17122/og-bus-2018-5-58-77>
 9. Bykov R. A., Bykova V. V. Assessment of the thermodynamic probability of hydrocarbons transformations from stable gas condensate in the zeoforming process. *Problemy geologii i osvoyeniya nedr: trudy XXIII Mezhdunarodnogo simpoziuma im. akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchennykh, posvyashchennogo 75-letiyu Pobedy v Velikoy Otechestvennoy voyne: v 2 t.* [Problems of Geology and Subsurface Development: Proceedings of the XXIII International Symposium named after Academician M. A. Usov for students and young scientists, dedicated to the 75th anniversary of Victory in the Great Patriotic War: in 2 vols. (Tomsk, April 6–10, 2020)]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2020, vol. 2, pp. 276–277 (in Russian).
 10. Ivantsova E. A. Photocolorimetric method. *Problems of Science: Journal*, 2015, no. 1, pp. 5–7 (in Russian).
 11. Patent 2712077 RF. *Method for producing a catalyst and the catalyst itself*. Yu. Bauer, R. Dotzel, Y. V. Münch. Application no. 2016141916 dated 27.03.2015; published 27.01.2020, Bulletin no. 3 (in Russian).

Поступила в редакцию 15.01.2025; одобрена после рецензирования 02.02.2025;
принята к публикации 04.02.2025; опубликована 30.06.2025
The article was submitted 15.01.2025; approved after reviewing 02.02.2025;
accepted for publication 04.02.2025; published 30.06.2025