

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 422 (2017), 91 – 98

UDC 665.632:544.47:544.344:547.52

A.V. Vosmerikov, B.T. Tuktin, L. N. Vosmerikova, N.N. Nurgaliyev, L.L. Korobitsyna

¹D.V. Sokol'skii Institute of Fuel, Catalysis & Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan;

²Institute of Petroleum Chemistry, Russian Academy of Sciences Siberian Branch, Tomsk, Russia
E-mail: tuktin_balga@mail.ru

CONVERSION OF GASEOUS HYDROCARBONS OVER MODIFIED ZEOLITE CATALYST

Annotation. The conversion of lower C₁-C₃ alkanes to aromatic hydrocarbons over zeolite catalysts modified with Mo, Zn, La has been investigated and their resistance to deactivation has been studied. Shown that these catalysts exhibit different activity and stability in the tested process, the process parameters essentially depend on the molecular weight of used hydrocarbon in the normal reaction. The method of temperature programmed desorption of ammonia studied the acidic properties of the catalysts and found the difference in the distribution of acid sites on the strength and concentration.

Key words: methane, ethane, propane, aromatic hydrocarbons, zeolite, conversion, activity, selectivity, stability

А. В. Восмериков², Б. Т. Туктин¹, Л. Н. Восмерикова²,
Н. Н. Нурғалиев¹, Л. Л. Коробицына²

¹АО Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан;

²Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

ПРЕВРАЩЕНИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРАХ

Аннотация. Исследована конверсия низших алканов C₁-C₃ в ароматические углеводороды на цеолитсодержащих катализаторах, модифицированных Mo, Zn и La, и оценена их устойчивость к дезактивации. Показано, что полученные катализаторы проявляют различную активность и стабильность в исследуемом процессе, причем показатели процесса существенно зависят от молекулярной массы используемого в реакции нормального углеводорода. Методом термопрограммированной десорбции аммиака изучены кислотные свойства катализаторов и установлено отличие в распределение их кислотных центров по силе и концентрации.

Ключевые слова: метан, этан, пропан, ароматические углеводороды, цеолит, конверсия, активность, селективность, стабильность

Введение. Создание новых катализаторов и разработка технологий с их использованием для получения ценных химических продуктов из природного и попутных нефтяных газов, широкой фракции легких углеводородов и отходящих нефтезаводских газов является одним из основных направлений развития современной газопереработки и газохимии. Основными компонентами указанных видов углеводородного сырья являются низкомолекулярные парафины, которые в

настоящее время не находят квалифицированного применения из-за высокой термодинамической устойчивости их молекул и используются в качестве химического сырья лишь в небольшом числе технологических процессов. Все промышленные процессы получения продуктов нефтехимического синтеза из попутных и сжиженных нефтяных газов характеризуются высокими энергетическими и материальными затратами. Они сложны и, зачастую, малорентабельны вследствие большого количества стадий и низкого выхода целевого продукта. Одним из перспективных направлений использования газообразных углеводородов является получение из них ароматических соединений в присутствии катализаторов. Это довольно сложный процесс и для его осуществления необходимо использовать катализаторы, обладающие бифункциональными свойствами, среди которых повышенный интерес вызывают высококремнеземные цеолиты типа ZSM-5, модифицированные активными металлическими компонентами [1-5]. Сочетание в них уникальных структурных и кислотных свойств пентасилов с дегидрирующей способностью промотирующих металлов позволяет получать с высокой селективностью легкие ароматические углеводороды [6-9]. Ароматизация низкомолекулярных парафинов позволяет решить две важные задачи – получение дополнительного количества высокооктановых компонентов моторного топлива и индивидуальных ароматических углеводородов для нефтехимического синтеза, а также вовлечение в химическую переработку попутных нефтяных газов, что приведет к существенному улучшению экологической обстановки в районах нефтегазодобычи. В данной статье приводятся результаты по изучению закономерностей превращения индивидуальных алканов C_1-C_3 в ароматические углеводороды на модифицированных цеолитсодержащих катализаторах.

Экспериментальная часть

Приготовление модифицированных цеолитсодержащих катализаторов 5%Mo-2%Zn/ZSM-5/ Al_2O_3 (КПМ-16) и 5%Mo-2%La/ZSM-5/ Al_2O_3 (КПМ-19) проводили методом пропитки смеси цеолита и гидроксида алюминия водными растворами солей цинка, молибдена и лантана. После формования катализаторов проводилась сушка их гранул при температуре 150 °С в течение 12 ч и прокаливание при 550 °С в течение 6 ч.

Исследование каталитической активности и стабильности полученных цеолитсодержащих катализаторов осуществляли в процессах превращения метана, этана и пропана в ароматические углеводороды (Ару).

Неокислительную конверсию метана (степень чистоты 99,99% об.) проводили в установке проточного типа при температуре 750 °С и атмосферном давлении. Образец катализатора ($V = 1,0 \text{ см}^3$) помещали в трубчатый реактор, выполненный из кварцевого стекла, диаметром 12 мм. Перед началом реакции катализатор нагревали в токе гелия до 750 °С, выдерживали при этой температуре в течение 20 мин, после чего начинали подавать метан с объемной скоростью 1000 ч^{-1} . Продукты реакции анализировали методом газовой хроматографии, подробное описание методики проведения экспериментов приведено в работе [10].

Испытания катализаторов в процессах превращения этана (степень чистоты 99,84% об.) и пропана (степень чистоты 99,95% об.) проводили в установке проточного типа с неподвижным слоем катализатора ($V = 3 \text{ см}^3$) при атмосферном давлении, температуре реакции 450-650 °С и объемной скорости подачи исходного сырья 500 ч^{-1} . Продукты реакции анализировали методом ГЖХ с использованием хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2». Для определения состава жидкой фазы использовали капиллярную колонку VP-1 PONA (100 м x 0,25 мм x 0,5 мкм), а для определения состава газовой фазы – капиллярную GS-Gas-Pro (60 м x 0,32 мм) и набивную Carbosieve S-II (4 м x 2 мм, 60/80 меш) колонки.

Для оценки каталитической активности исследуемых образцов определяли степень превращения исходного углеводородного сырья, а также рассчитывали выход и селективность образования газообразных и жидких продуктов реакции.

Кислотные свойства цеолитсодержащих катализаторов исследовали методом термoproграммированной десорбции (ТПД) аммиака по методике, описанной в работе [11]. Силу кислотных центров катализаторов оценивали по температурным максимумам на термодесорбционных кривых, а их концентрацию определяли по количеству аммиака, десорбирующегося в момент фиксации десорбционных пиков, и выражали в мкмольх на 1 г катализатора.

Результаты и их обсуждение

Углеводородный состав исходной газовой смеси оказывает существенное влияние на показатели процесса её превращения в ароматические соединения. В связи с этим проведены исследования по изучению закономерностей превращения индивидуальных компонентов этой газообразной смеси на цеолитсодержащих катализаторах КПМ-16 и КПМ-19.

Исследования влияния химического состава полученных образцов на их каталитические свойства в процессе неокислительной конверсии метана показали, что наибольшей активностью обладает катализатор КПМ-19, содержащий в своем составе молибден и лантан. Максимальная конверсия (10,2%) на нем достигается за первые 20 мин работы катализатора (рис. 1а). В течение первых 60 мин работы катализатора КПМ-19 наблюдается наиболее резкое снижение конверсии метана, после чего скорость её падения замедляется. Катализатор КПМ-16 проявляет гораздо меньшую активность в данном процессе. В исследуемом временном интервале конверсия метана изменяется от 4,9 (20 мин) до 0,9% (140 мин). Наибольшее количество ароматических углеводородов образуется на катализаторе КПМ-19 (8,1%) в первые 20 мин работы катализатора (рис. 1б). За 60 мин реакции наблюдается резкое снижение концентрации ароматических углеводородов (до 2,9%) в продуктах, а затем скорость снижения образования ароматических углеводородов замедляется. На катализаторе КПМ-16 образуется существенно меньше ароматических углеводородов – максимальный их выход составляет около 4% за 20 мин его работы.

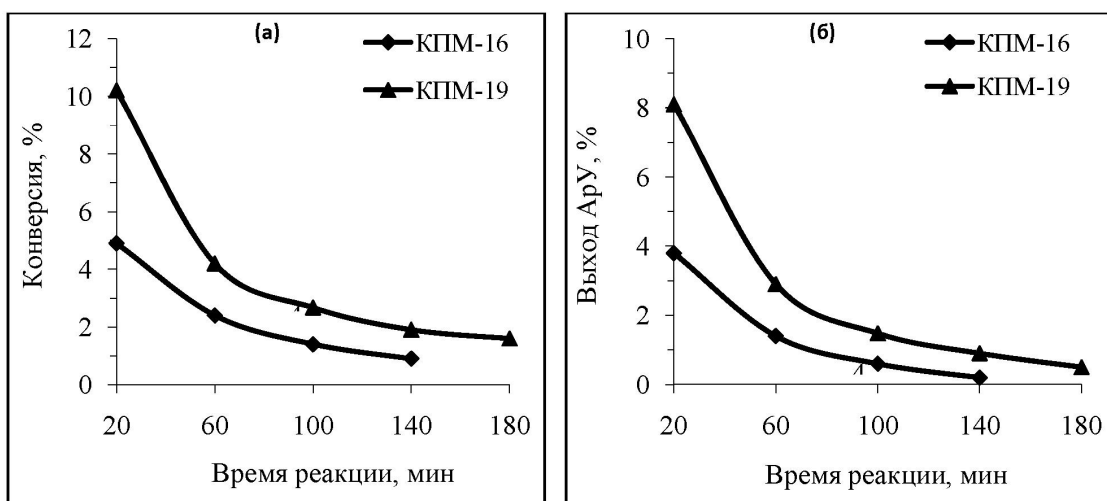


Рисунок 1 - Изменение конверсии (а) и выхода ароматических углеводородов (б) со временем работы катализаторов в процессе превращения метана при 750 °С и 1000 ч⁻¹

На рис. 2 приведены сравнительные характеристики активности и селективности исследуемых катализаторов в процессе ароматизации этана при температуре реакции 650 °С и объемной скорости подачи сырья 500 ч⁻¹. Видно, что наибольшей активностью в данном процессе обладает катализатор КПМ-16 – конверсия этана и выход ароматических углеводородов на нем составляют соответственно 86,3 и 15,5%. Катализатор КПМ-19 проявляет более низкую активность в процессе превращения этана в ароматические углеводороды – конверсия этана на нем составляет всего 33,5%, а выход ароматических углеводородов – 8,3%, что соответственно в 2,6 и 1,9 раз меньше, чем для образца КПМ-16.

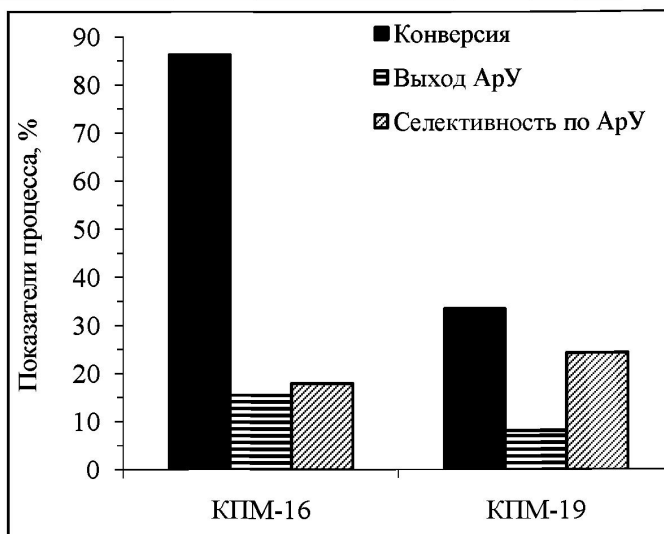


Рисунок 2 - Основные показатели процесса ароматизации этана на цеолитсодержащих катализаторах (T = 650 °C)

Данные по изменению степени превращения этана и выхода ароматических углеводородов со временем работы исследуемых катализаторов представлены на рис. 3. Видно, что конверсия этана и выход ароматических углеводородов в течение 240 мин работы катализатора КПМ-19 изменяются незначительно, в то время как для образца КПМ-16 наблюдается практически линейное снижение как конверсии этана, так и выхода ароматических углеводородов. Это можно объяснить более низкой первоначальной активностью образца КПМ-19 в реакции ароматизации этана, что и приводит к плавному снижению его активности со временем работы.

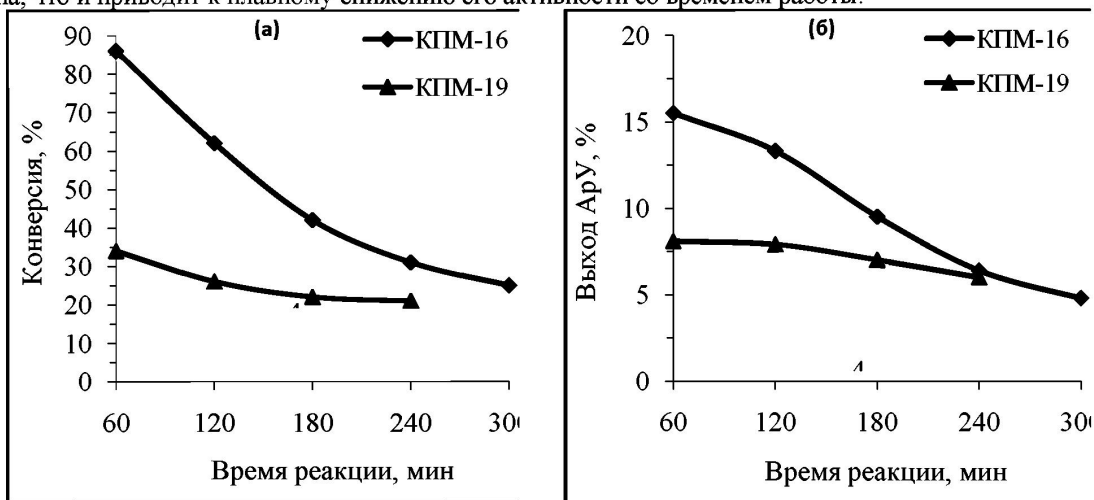


Рисунок 3 - Изменение конверсии (а) и выхода ароматических углеводородов (б), образующихся на цеолитсодержащих катализаторах, со временем их работы в процессе превращения этана (T = 650 °C)

Пропан подвергается каталитическому превращению в ароматические углеводороды при более низкой температуре по сравнению с этаном. Так, заметное превращение пропана на исследуемых катализаторах начинается уже при 450 °C, а при температуре реакции 550 °C и выше происходит образование ароматических углеводородов, состоящих преимущественно из бензола, толуола и ксилолов, в небольших количествах также образуются алкилбензолы C₉₊, нафталин и

алкилнафталины (табл. 1, рис. 4). Побочные продукты представлены газообразными углеводородами – метаном и этаном, в незначительном количестве присутствуют водород и олефины C_2-C_4 , а также непревращенный пропан. С ростом температуры процесса происходит увеличение степени превращения пропана и выхода ароматических углеводородов. При температуре реакции 600 °С конверсия и выход ароматических углеводородов на образце КПМ-16 достигают соответственно 85 и 31,9%. Катализатор КПМ-19 характеризуется несколько более высокой общей активностью (оцениваемой по степени превращения пропана), но при этом он проявляет более низкую ароматизирующую активность.

Таблица 1 - Показатели процесса ароматизации пропана на катализаторах КПМ-16 и КПМ-19

Катализатор	T, °C	X, %	A, %	Селективность образования продуктов, % мас.				
				H ₂	CH ₄	Алканы C ₂ -C ₅	Алкены C ₂ -C ₄	Арены
КПМ-16	450	11	1,9	7,8	15,6	43,8	15,3	17,5
	500	33	5,9	6,9	21,8	42,5	10,8	18,0
	550	80	29,8	4,2	20,4	32,7	5,4	37,3
	600	85	31,9	3,9	26,8	32,9	3,2	33,2
КПМ-19	450	17	0,9	1,9	18,8	60,3	13,4	5,6
	500	35	3,1	3,3	30,1	42,1	15,6	8,9
	550	68	22,2	2,8	33,9	19,4	11,2	32,7
	600	90	31,7	3,4	37,9	13,7	9,6	35,4

Примечание. T – температура; X – конверсия; A – выход ароматических углеводородов.

На рис. 4 приведены данные по составу жидких продуктов превращения пропана на исследуемых цеолитсодержащих катализаторах. Можно отметить, что на обоих катализаторах образуется достаточно большое количество моноциклических ароматических углеводородов (бензола, толуола, ксилолов), суммарная доля которых в жидком продукте превышает 65%. Заметно меньше нафталина и его производных получается на катализаторе КПМ-19. Таким образом, введение в состав Мо-содержащих цеолитных катализаторов цинка и лантана приводит к получению образцов, отличающихся по своим каталитическим свойствам.

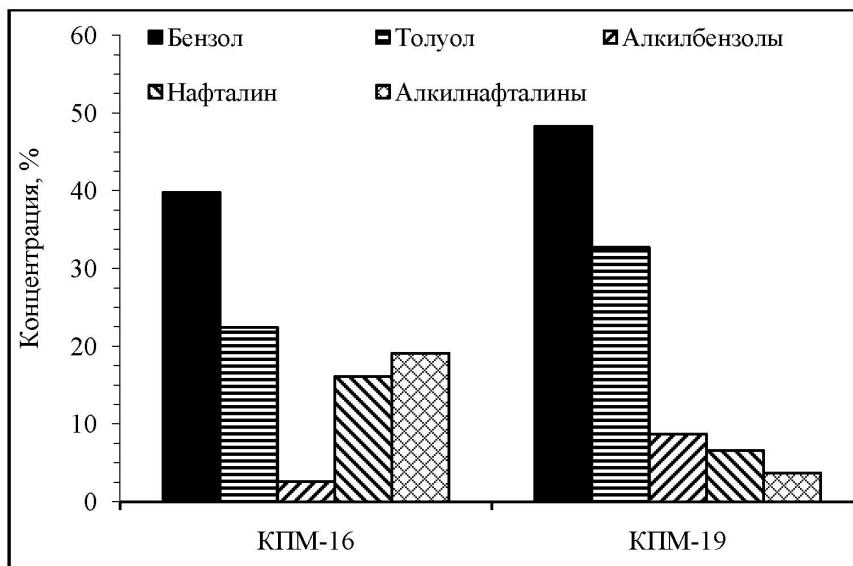


Рисунок 4 - Состав жидких продуктов превращения пропана на цеолитсодержащих катализаторах (T = 600 °C)

Результаты исследования стабильности работы катализаторов в процессе ароматизации пропана представлены в табл. 2. Для образца КПМ-16 наблюдается резкое снижение как общей,

так и ароматизирующей активности со временем его работы. Так, конверсия пропана после 240 мин работы катализатора составила 33,0%, что почти в 3 раза меньше, чем в начале процесса, а выход ароматических углеводородов уменьшается почти в 4 раза. Катализатор КПМ-19 проявляет относительную стабильность работы в течение первых 120 мин, а затем в течение последующих 180 мин работы происходит снижение степени превращения исходного сырья с 78,3 до 35,4%, в то время как селективность образования ароматических углеводородов снижается незначительно – всего на 3,3%.

Таблица 2 - Изменение каталитических свойств образцов КПМ-16 и КПМ-19 в процессе ароматизации пропана со временем их работы ($T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Катализатор	Время реакции, мин				
	60	120	180	240	300
	Конверсия, %				
КПМ-16	96,9	81,2	51,3	33,0	–
КПМ-19	87,7	78,3	65,8	53,4	42,9
	Выход АрУ, %				
КПМ-16	32,0	30,9	19,1	8,6	–
КПМ-19	30,5	26,9	17,7	15,4	13,3
	Селективность АрУ, %				
КПМ-16	33,0	38,0	37,2	26,1	–
КПМ-19	34,7	34,3	26,8	28,8	31,0

Сравнение результатов, полученных при исследовании превращения индивидуальных газообразных углеводородов на цеолитсодержащих катализаторах КПМ-16 и КПМ-19, подтверждает выводы о том, что чем больше молекулярная масса исходного алкана, тем выше его реакционная способность и соответственно больше образуется при его каталитическом превращении целевого продукта за один проход сырья [12, 13].

Учитывая бифункциональную природу исследуемых катализаторов, обусловленную участием в реакции ароматизации низших алканов C_1-C_3 как металлсодержащих активных центров, так и кислотных центров высококремнеземного цеолита, представляло интерес исследовать кислотные характеристики данных каталитических систем. Результаты исследования кислотных свойств цеолитсодержащих катализаторов представлены в табл. 3, из данных которой видно, что они имеют два типа кислотных центров – слабые и сильные, которым соответствуют температурные максимумы десорбции аммиака T_I и T_{II} на ТД-кривых. Катализаторы КПМ-16 и КПМ-19 содержат достаточно высокое количество кислотных центров – соответственно 853 и 999 мкмоль/г, при этом для обоих катализаторов характерно существенное преобладание слабых кислотных центров. Для образца КПМ-16 концентрация слабых кислотных центров составляет 732 мкмоль/г, очень близкое количество низкотемпературных центров содержит и катализатор КПМ-19 – 766 мкмоль/г. В то же время концентрация сильных кислотных центров для образца КПМ-16 на 112 мкмоль/г меньше, чем для катализатора КПМ-19, а их сила значительно выше. Можно также отметить, что сила низкотемпературных кислотных центров для образца КПМ-16 существенно выше, чем для катализатора КПМ-19.

Таблица 3 - Кислотные свойства катализаторов КПМ-16 и КПМ-19

Катализатор	$T_{\text{макс.}},\text{ }^{\circ}\text{C}$		Концентрация, мкмоль/г		
	T_I	T_{II}	C_I	C_{II}	C_{Σ}
КПМ-16	210	440	732	121	853
КПМ-19	175	420	766	233	999

Примечание. T_I, T_{II} – температуры максимумов низко- и высокотемпературных пиков на термодесорбционных кривых; C_I, C_{II} и C_{Σ} – концентрации слабых и сильных центров и их сумма, соответственно.

Таким образом, исследования кислотных свойств цеолитсодержащих катализаторов показали, что они отличаются друг от друга распределением и соотношением кислотных центров различной природы. Наиболее существенные отличия наблюдаются в концентрации высокотемпературных и силе кислотных центров обоих типов. Особенности в соотношении слабых и сильных кислотных центров исследуемых образцов сказываются на их каталитических свойствах в превращении газообразных углеводородов в ароматические углеводороды, так как определенные активные центры ответственны за протекание той или иной химической реакции.

Суммируя полученные результаты, можно отметить, что изученные цеолитсодержащие катализаторы проявляют относительно высокую активность и стабильность в процессе ароматизации алканов C_1-C_3 , и наиболее эффективным в процессе неокислительной конверсии метана является цеолитсодержащий катализатор с добавкой молибдена и лантана, а в процессе ароматизации этана и пропана – катализатор, содержащий молибден и цинк. Показатели эффективности процесса ароматизации газообразных углеводородов на цеолитсодержащих катализаторах значительно повышаются при переходе от метана к пропану, при этом с ростом молекулярной массы предельного углеводорода снижается температура начала образования и достижения максимально возможного количества целевого продукта.

Источник финансирования исследований. Работа выполнена при частичном финансировании в рамках проектов 218/ГФ4 «Новая технология получения олефиновых и ароматических углеводородов из серосодержащих попутного и сжиженного нефтяного газов» и 220/ГФ4 «Комплексная безотходная каталитическая переработка тяжелых фракций нефти в моторные топлива и ароматические соединения» Комитета науки Министерства образования и науки Республика Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дергачев А.А., А.Л. Лапидус Каталитическая ароматизация низших алканов // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2008. – Т. ЛП. № 4. – С. 15-21.
- [2] Lunsford J. H. Catalytic conversion of methane to more useful chemicals and fuels: a challenge for the 21st century // *Catalysis Today*. – 2000. – Vol. 63. – P. 165-174.
- [3] Tushar V., Choudhary T.V., Aksoylu E. Nonoxidative activation of methane // *Catalysis reviews*. – 2003. – Vol. 45. – № 1. – P. 151-203.
- [4] Мамонов Н.А., Фадеева Е.В., Григорьев Д.А., Михайлов М.Н., Кустов Л.М., Алхимов С.А. Металлцеолитные катализаторы дегидроароматизации метана // *Успехи химии*. – 2013. – Т. 82. – № 6. – С. 567-585.
- [5] Восмеринова Л.Н., Барбапин Я.Е., Восмеринов А.В. Каталитическая ароматизация этана на цеолитах различного структурного типа, модифицированных цинком // *Нефтехимия*. – 2014. – Т. 54. – № 6. – С. 430-435.
- [6] Восмеринова Л.Н., Восмеринов А.В., Ечевский Г.В. Превращение природного газа в жидкие продукты на биметаллических цеолитных катализаторах // *Химическая технология*. – 2007. – Т. 8, № 12. – С. 554-558.
- [7] Ахметов А.Ф., Каратун О.Н. Модифицированные пентасилсодержащие катализаторы для ароматизации углеводородных газов // *Химия и технология топлив и масел*. – 2001. – № 5. – С. 33-36.
- [8] Хасанова Э.И., Назмиева И.Ф., Зиятдинов А.Ш., Салахов И.И., Копылов А.Ю. Изучение процесса ароматизации пропана на цеолитсодержащем катализаторе с различным отношением Si/Al // *Нефтехимия*. – 2012. – Т. 52. – № 2. – С. 97-103.
- [9] Зайковский В.И., Восмеринова Л.Н., Восмеринов А.В. Ароматизация этана на галлоалюмосиликате, модифицированном платиной и палладием // *Кинетика и катализ*. – 2012. – Т. 53. – № 6. – С. 778-784.
- [10] Восмеринов А.В., Ечевский Г.В., Коробицына Л.Л., Барбапин Я.Е., Арбузова Н.В., Коденев Е.Г., Журавков С.П. Дезактивация Мо-содержащих цеолитов в процессе неокислительной конверсии метана // *Кинетика и катализ*. – 2005. – Т. 46. – № 5. – С. 769-772.
- [11] Восмеринов А.В., Ерофеев В.И. Влияние механической обработки на каталитические свойства цеолитсодержащих катализаторов ароматизации низших алканов // *Журнал физической химии*. – 1995. – Т. 69. – № 5. – С. 787-790.
- [12] Миначев Х.М., Дергачев А.А. Механизм ароматизации низших парафинов на пентасилах // *Успехи химии*. – 1990. – № 9. – С. 1522-1549.
- [13] Миначев Х.М., Дергачев А.А. Каталитические и физико-химические свойства кристаллических пентасилов в превращениях низкомолекулярных олефинов и парафинов // *Известия академии наук. Серия химическая*. – 1993. – № 6. – С. 1018-1028.

REFERENCES

- [1] Dergachev A.A., Lapidus A.L. *Russ. him. jurnal*, **2008**, LP, 4,15-21. (in Russ.)
- [2] Lunsford J. H. *Catalysis Today*, **2000**, 63, 165-174.

- [3] Tushar V., Choudhary T.V. *Catalysis reviews*, **2003**, 45, 1, 151-203.
- [4] Mamonov N.A., Fadeieva E.V., Grigorev D.A., Mihailov M.N., Kustov L.M., Alhimov S.A. *Uspehii Himii*, **2013**, 82, 6, 567-585. (in Russ.)
- [5] Vosmerikov L.N., Barbashin Y.E., Vosmerikov A.V. *Neftehimia*, **2014**, 54, 6, 430-435. (in Russ.)
- [6] Vosmerikov L.N., Vosmerikov A.V., Echevskii G.V. *Him. Technologia*, **2007**, 8, 12, 554-558. (in Russ.)
- [7] Akhmetov A.F., Karatun O.N. *Himia I tehnologia topliv I masel*, **2001**, 5, 33-36. (in Russ.)
- [8] Hasanova A.I., Nazmeva I.F., Ziadinov A.Sh., Salahov I.I., Kopylov A. *Neftehimia*, **2012**, 2, 97-103. (in Russ.)
- [9] Zaikovskiy V.I., Восмерикова Vosmerikov L.N., Vosmerikov A.V. *Kinetics and Catalysis*, **2012**, 53, 6, 778-784. (in Russ.)
- [10] Vosmerikov A.V., Echevskii G.V., Korobitsyna L.L., Barbashin Y.E., Arbusova N.V., Kodenev E.G., Zhuravkov S.P. *Kinetics and Catalysis*, **2005**, 46, 5, 769-772. (in Russ.)
- [11] Vosmerikov A.V., Erofeev V.I. *Jurnal fiz.himii*, **1995**, 69, 5, 787-790. (in Russ.)
- [12] Minhachev H.M., Dergachev A.A. *Uspehii Himii*, **1990**, 9, 1522-1549. (in Russ.)
- [13] Minhachev H.M., Dergachev A.A. *Izvestia akademii nauk. Seria himicheskaya*, **1993**, 6, 1018-1028. (in Russ.)

А. В. Восмериков², Б. Т. Туктин¹, Л. Н. Восмерикова², Н. Н. Нурғалиев¹, Л. Л. Коробицына²

Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты АҚ, Алматы, Қазақстан;
²РГА СБ Мұнай химиясы институты, Томск, Ресей

МОДИФИЦИРЛЕНГЕН ЦЕОЛИТҚҰРАМДЫ КАТАЛИЗАТОРДА ГАЗТӘРІЗДЕС КӨМІРСУТЕКТЕРДІҢ ӨЗГЕРІСКЕ ҰШЫРАУЫ

Аннотация. Мо, Zn и La-мен модифицирленген цеолитқұрамды катализаторлар қатысында төмен молекулалы алкандардың ароматты көмірсутектерге конверсиясы зерттелінді және олардың дезактивацияға тұрақтылығы анықталды. Зерттелінген процесте алынған катализаторлардың активтілігі мен тұрақтылық шамалары әртүрлі болды, сонымен қатар процестің көрсеткіштері реакцияда қолданылған қалыпты көмірсутектің молекулалық массасына тәуелді болады. Аммиактың термодесорбция бағдарламасы арқылы катализаторлардың қышқылдық қасиеттері зерттелінді және де олардың қышқылдық орталықтарының күші мен концентрациясының бөлінуінің ерекшелігі анықталды.

Тірек сөздер: метан, этан, пропан, ароматты көмірсутектер, цеолит, конверсия, активтілік, селективтілік, тұрақтылық.