

Б. ТУКТИН, Б. БАГАШАРОВА, Л. Б. ШАПОВАЛОВА

(АО «Институт органического катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского», Алматы, Казахстан)

## ПРЕВРАЩЕНИЕ С<sub>2</sub>–С<sub>4</sub>-АЛКАНОВ В АРОМАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРАХ

**Аннотация.** Исследован процесс превращения С<sub>2</sub>–С<sub>4</sub> алканов в ароматические углеводороды на цеолитсодержащих катализаторах группы ПК, модифицированных Fe, Zn и РЗЭ. Преобладающими продуктами, образующимися при переработке С<sub>2</sub>–С<sub>4</sub> алканов, являются толуол и бензол. Установлено, что на поверхности катализаторов группы ПК кислотные (бренстедовские и льюсовские) центры существуют с M<sup>n+</sup>-металлическими и смешанными центрами, что обеспечивает полифункциональность катализаторов.

**Ключевые слова:** цеолитсодержащий катализатор, ароматические углеводороды, С<sub>2</sub>–С<sub>4</sub> алканы.

**Тірек сөздер:** цеолит құрамды катализатор, ароматты қөмірсүткөтер, С<sub>2</sub>–С<sub>4</sub> алкандар.

**Keywords:** zeolite-containing catalyst, aromatic hydrocarbons, C<sub>2</sub>–C<sub>4</sub> alkanes.

Легкие С<sub>1</sub>–С<sub>4</sub>-алканы, являющиеся основными компонентами природных, попутных и нефтезаводских газов, могут быть превращены в ароматические, олефиновые и высокомолекулярные алканы в присутствии катализаторов [1–5]. Однако, до настоящего времени значительная часть легких углеводородных газов используется в качестве технологического и бытового топлива или сжигается на факелях, нанося ощутимый вред экологической обстановке. Исследования каталитических превращений легких алканов ведутся во многих странах мира. При этом направление процесса переработки и выход продуктов, в основном, зависят от природы, условий приготовления катализатора и проведения реакции. Каталитическое превращение легких алканов в ароматические и олефиновые углеводороды интенсивно исследуются на модифицированных пентасилсодержащих и хромовых катализаторах [1–10].

В данной работе представлены результаты исследования процесса превращения С<sub>2</sub>–С<sub>4</sub> алканов в ароматические углеводороды на цеолитсодержащих катализаторах, модифицированных металлами Fe, Zn и РЗЭ. В качестве источника С<sub>2</sub>–С<sub>4</sub> алканов использовался сжиженный нефтяной газ. Исследовано влияние природы компонентов активной фазы катализатора и условий проведения процесса на степень превращения углеводородов и состав образующихся соединений.

### Экспериментальная часть

Исследован процесс превращения С<sub>2</sub>–С<sub>4</sub> алканов на модифицированных цеолитсодержащих катализаторах РЗЭ /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZSM (ПК-16), Zn -РЗЭ /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZSM (ПК-16), Fe-Zn-РЗЭ /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZSM (ПК-18). Процесс проводили в установке в проточной установке при атмосферном давлении при варьировании температуры от 450 до 600°C и объемной скорости подачи сырья 372 ч<sup>-1</sup>.

Катализаторы готовили методом пропитки Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZSM композиции водными растворами азотнокислых солей цинка, железа и РЗЭ. После формования проводилась сушка при 150°C и с последующей обработкой в токе воздуха при 550°C.

Состав исходных и образующихся соединений анализировали на хроматографе ЛХМ-8, колонка 3,50·0,5 см, заполненная фторированым Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, фирмы «Supelco». Структура и состояние активных центров катализаторов исследованы с помощью электронной микроскопии [11]. Величина поверхности исследуемых катализаторов определена по методу БЭТ (таблица 1).

Таблица 1 – Состав катализаторов группы ПК и их удельная поверхности

Катализатор	Состав катализатора	Способ приготовления	S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> /г
ПК-16	РЗЭ/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +ZSM	Совместная пропитка	317,9
ПК-17	РЗЭ-Zn/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +ZSM	Совместная пропитка	294,5
ПК-18	РЗЭ-Zn-Fe/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +ZSM	Совместная пропитка	292,2

## Результаты и обсуждение

Степень конверсии  $C_2$ - $C_4$ -алканов и состав соединений, образующихся в результате их переработки на катализаторах группы ПК, зависят от температуры процесса и природы компонентов каталитической системы.

Из данных, представленных в таблице 2, видно, что в продуктах переработки  $C_2$ - $C_4$  алканов на модифицированном цеолитсодержащем РЗЭ/ $Al_2O_3$ -ZSM (ПК-16), катализаторе образуются ароматические соединения (бензол, толуол, этилбензол, ксиолы), а в газовой фазе содержатся  $C_1$ - $C_4$  углеводороды и водород.

Таблица 2 – Превращение  $C_2$ - $C_4$  алканов на катализаторе РЗЭ/ $Al_2O_3$ -ZSM (ПК-16)

$T_{\text{опыта}}, ^\circ\text{C}$	Исх. газ	450	Исх. газ	500	Исх. газ	550	Исх. газ	600
Конверсия $C_4$ , %		62,9		64,8		73,3		71,7
Выход жидкой фазы, % мас		12,5		8,2		20,4		21,5
Селективность по АрУ, %		19,9		12,71		27,8,1		30,0
Состав газовой фазы, % мас								
Водород	–	4,9	–	8,4	–	6,3	–	6,3
Метан	–	6,5	–	23,6	–	12,5	–	14,0
Этан	0,4	9,5	0,1	20,2	–	21,0	–	19,4
Этилен	–	1,2		5,6	–	29,5	20,6	30,1
Пропан	22,8	45,6	21,4	7,2	18,4	5,7	–	4,5
Пропилен	–	2,5	–	2,7	–	1,0	–	0,6
Изо-бутан	46,8	22,8	48,0	10,9	52,6	9,8	47,2	11,2
Н-бутан	30,0	5,7	30,5	16,7	29,0	12,0	32,2	11,3
Бутилен		0,9		3,7		1,7		1,9
$C_5$ - $C_6$ углеводор.		0,4		1,0		0,5		0,7
Состав жидкой фазы, % мас								
Бензол		7,7		14,3		40,9		44,6
Толуол		64,1		62,3		50,2		45,1
Этилбензол		21,4		18,3		6,9		7,5
Ксиолы		6,8		5,1		2,0		2,8

На катализаторе ПК-16 (таблица 2) с увеличением температуры от 450 до 550°С конверсия  $C_4$  повышается с 62,9 до 71,7%. С ростом температуры от 450 до 600°С наблюдается рост содержания бензола от 7,7 до 44,6%, а выходы толуола и этилбензола снижаются с 64,1 до 45,1% и 21,4 до 7,5% соответственно. Содержание ксиола колеблется в пределах 2,0-6,8 %. Суммарный выход ароматических углеводородов (АрУ) увеличивается от 12,5 до 21,5%, селективность по АрУ – от 19,9 (450°С) до 30,0% (600°С). В этих условиях усиливается крекинг с образованием  $C_1$ - $C_2$  углеводородов. Выход метана меняется от 6,5 (450°С) до 14,0% (600°С), этана – от 9,5 (450°С) до 21,0% (550°С), этилена – от 1,2 (450°С) до 31,1% (600°С).

Введение цинка в состав РЗЭ/ $Al_2O_3$ -ZSM заметно сказывается на поведении катализатора в реакции превращения  $C_2$ - $C_4$  алканов (таблица 3). При их переработке на катализаторе Zn-РЗЭ/ $Al_2O_3$ -ZSM (ПК-17) максимальная степень конверсии достигает 93,6% (550°С). При температуре 550°С в жидкой фазе содержатся 40,3% бензола, 49,9% толуола, 7,4% этилбензола и 2,4% ксиолов.

Следует отметить, что суммарный выход ароматических углеводородов практически не зависит от температуры процесса: незначительно снижаясь в интервале 450-600°С от 26,4 до 23,6%. Селективность по АрУ снижается в этих условиях от 53,1 до 26,2%. На катализаторе ПК-17 выход ароматических углеводородов и селективность по АрУ значительно выше по сравнению с ПК-16, особенно при температурах 450–500°С (таблицы 2 и 3).

Таблица 3 – Превращение C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> алканов на катализаторе Zn-PЗЭ /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZSM (ПК-17)

T <sub>опыта</sub> , °C	Исх. газ	450	500	Исх. газ	550	600
Конверсия C <sub>4</sub> , %		49,7	70,4		93,6	90,7
Выход жидкой фазы, %мас		26,4	23,4		23,3	23,5
Селект. ArY, %		53,1	33,2		24,8	26,2
Состав газовой фазы, %						
Метан	–	5,5	8,3	0,1	22,9	21,1
Этан	0,2	20,9	14,8	0,1	34,4	21,1
Этилен	–	1,2	4,1	–	9,3	28,2
Пропан	20,2	29,2	43,4	2,4	12,2	6,9
Пропилен	–	2,0	4,2	–	5,9	13,6
Изо-бутан	37,8	5,4	8,5	46,9	1,4	1,9
Н-бутан	40,4	32,8	13,4	47,6	3,4	4,1
Бутилен	04	0,4	1,4	0,5	1,3	2,8
C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub> углеводор.	1,0	1,2	1,9	2,4	9,3	0,3
Состав жидкой фазы, %						
Бензол		13,4	16,4		40,3	41,1
Толуол		64,0	65,6		49,9	45,2
Этилбензол		16,6	12,6		7,4	6,1
Ксиолы		5,3	4,6		2,4	6,5
C <sub>8+</sub>		0,7	0,8		–	1,1

На катализаторе ПК-18, в состав которого, кроме цинка и РЗЭ, входит железо, конверсия по C<sub>4</sub> с ростом температуры повышается от 36,1 (450°C) до 95,2 % (600°C) (таблица 4).

Таблица 4 – Превращение C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> алканов на катализаторе Fe-Zn-PЗЭ /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZSM (ПК-18)

T <sub>опыта</sub> , °C	Исх. газ	450	Исх. газ	500	Исх. газ	550	600
Конверсия C <sub>4</sub> , %		36,1		69,9		93,4	95,2
Выход жидкой фазы, % мас		14,3		21,8		26,5	20,0
Селективность по ArY, %		39,6		31,2		28,4	21,0
Состав газовой фазы, %							
Метан	–	24,1	–	26,4	–	46,7	39,7
Этан	–	0,6	–	5,6	–	31,2	49,6
Этилен	–	2,2	–	5,6	–	6,7	–
Пропан	4,3	29,9	35,5	40,3	1,5	6,7	6,0
Пропилен	–	2,0	–	2,7	–	2,2	–
Изо-бутан	47,7	38,6	59,6	6,9	44,1	2,0	1,8
Н-бутан	47,7	1,7	4,9	11,1	54	4,5	2,0
Бутилен	0,3	0,9	–	1,4	0,4	–	0,9
Состав жидкой фазы, %							
Бензол		12,2		33,2		36,2	10,4
Толуол		52,8		35,6		49,5	47,4
Этилбензол		27,8		24,9		10,6	8,7
Ксиолы		7,2		6,3		3,7	3,5

Выход ароматических соединений при 450°C составляет 14,3% при 450°C. С ростом температуры до 550°C выход АРУ достигает 26,5% (550°C). При дальнейшем росте температуры проведения процесса до 600°C выход АРУ снижается до 20,0%. В области максимальной конверсии в жидкой части катализата обнаружено 36,2% бензола, 49,5% толуола, 10,6% этилбензола и 3,7% ксиолов, селективность по АРУ = 28,4% (таблица 4).

Анализ полученных результатов показывает, что в равных условиях (550°C) максимальный выход АРУ характерен для катализатора Fe-Zn- РЗЭ/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZSM (ПК-18) – 26,5%. Преобладающим продуктом, образующимся при переработке C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> алканов на катализаторах группы ПК, являются толуол и бензол: их выход колеблется в пределах 49,5-50,2% и 36,2-40,9% соответственно.

Состав продуктов, образующихся при переработке C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> алканов, на разработанных модифицированных цеолитсодержащих катализаторах ПК-16, ПК-17, ПК-18, свидетельствует, что синтезированные катализаторы обладают полифункциональными свойствами. Структура и состав продуктов, образующихся при переработке C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> алканов, свидетельствует об одновременном и параллельном протекании на разработанных модифицированных цеолитсодержащих катализаторах нескольких реакций: крекинг, дегидрирование, изомеризация, дегидроциклизация, алкилирование. Крекинг и дегидрирование исходных алканов происходят с образованием промежуточных активированных комплексов с пониженным содержанием атомов углерода и адсорбированных олефиновых структур. В дальнейшем в зависимости от природы активного центра катализатора развиваются различные направления превращения с участием промежуточных активированных комплексов.

Размер поверхности, структура и состояние активных центров катализаторов РЗЭ /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZSM (ПК-16), Zn -РЗЭ /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZSM (ПК-17) и Fe-Zn- РЗЭ /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZSM (ПК-18) исследованы с помощью методов БЭТ и электронной микроскопии

С помощью метода БЭТ показано, что удельная поверхность катализатора РЗЭ/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZSM (ПК-16) равна 317,9 м<sup>2</sup>/г (таблица 1). Согласно данным электронной микроскопии поверхность катализатора РЗЭ /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZSM (ПК-16), достаточно однородна: преобладают высокодисперсные структуры с d ≈ 2,0-4,0 нм, образованные оксидными состояниями редкоземельного элемента РЗЭ<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и РЗЭ<sub>2</sub>O<sub>11</sub>. Кроме того, обнаружены фрагменты с d ≈ 100,0 нм, идентифицированные как NaAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub> и Na<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>17</sub>.

Введение цинка в состав катализатора ПК-16 (РЗЭ-Zn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZSM –катализатор ПК-17) снижает величину его поверхности до 294,5 м<sup>2</sup>/г (таблица 5). Меняется дисперсность: размер частиц колеблется в пределах 5,0-7,0 нм. Цинк и редкоземельный элемент находятся в окисленном состоянии, преимущественно в виде РЗЭ<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO, Zn(OH)<sub>2</sub>. Имеет место внедрение атомов цинка и РЗЭ в структуру цеолита и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с образованием Na<sub>4</sub>Zn<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub> и РЗЭAlO<sub>3</sub>.

Величина поверхности катализатора ПК-18 (РЗЭ-Zn-Fe /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZSM) практически не отличается от ПК-17 и равна 292,2 м<sup>2</sup>/г. Однако структура поверхности ПК-18 более неоднородна по сравнению с ПК-17, кроме того, присутствие железа в составе катализатора существенно снижает дисперсность активных центров. Для катализатора ПК-18 характерны структуры, состоящие из РЗЭ<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и РЗЭO<sub>2</sub> с d ≈ 4,0-5,0 нм и d ≈ 20,0-30,0 нм соответственно и более крупные агрегаты, образованные частицами, размер которых колеблется от 1,0-2,0 нм до >50,0 нм. В состав этих структур входят Fe<sub>3</sub>Al, FeOOH, Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и РЗЭ<sub>3</sub>Al.

Необходимо отметить, что электронномикроскопические исследования показали, что частицы на поверхности катализаторов ПК являются высокодисперсными. В зависимости от природы металла-модификатора, количества вводимого цеолита и способа приготовления их размер колеблется от 2,0 до 10,0-20,0 нм. Для всех катализаторов серии ПК характерно внедрение металлов-модификаторов в структуру матрицы с образованием Fe<sub>3</sub>Al, Na<sub>4</sub>Zn<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>, Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Co<sub>2</sub>Si, Zn<sub>0,75</sub>Al<sub>15</sub>, Si<sub>1,5</sub>O<sub>6</sub>. Эти структуры могут функционировать как льюисовские кислотные центры [12].

Анализ результатов электронной микроскопии показывает, что на поверхности катализаторов группы ПК кислотные центры существуют с металлическими: характерно присутствие кислотных (бренстедовских и льюсовских), M<sup>+</sup>-металлических и смешанных центров. В состав кислотных центров могут входить металлы в различной степени окисления, закрепленные как внутри цеолитных полостей, так и на их внешней стороне, что согласуется с работами [12, 13] и подтверждается данными электронной микроскопии.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Фалькевич Г.С., Ростанин Н.Н., Виленский Л.М., Иняева Г.В., Немира К.Б., Нефедов Б.К. Новые технологии «САПРнефтехим» переработки углеводородного сырья с использованием цеолитсодержащих катализаторов. Сообщение 1. Переработка попутных нефтяных газов, широких фракций легких углеводородов и отходящих нефтезаводских парафинсодержащих газов в ароматические углеводороды // Катализ в промышленности. – 2002. – № 2. – С. 44-50.
- 2 Дедов А.Г., Моисеев И.И., Локтев А.С., Кузнецова Н.Т., Кецко В.А., Пархоменко К.В., Карташев И.Ю. Каталитический синтез базовых нефтехимических продуктов на основе алканов  $C_1-C_4$  // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – № 2. – С. 35-40.
- 3 Булкатов А.Н. Применение процессов дегидрирования для переработки углеводородного сырья в продукты нефтехимии // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2008. – № 10. – С. 30-36.
- 4 Мамонов Н.А., Фадеева Е.В., Григорьев Д.А., Михайлов М.Н., Кустов Л.М., Алхимов С.А. Металл-цеолитные катализаторы дегидроароматизации метана // Успехи химии. – 2013. – Т. 82. – С. 567-585.
- 5 Дергачев А.А., Лапидус А.Л. Каталитическая ароматизация низших алканов // Российский химический журнал. – 2008. – Т. ЛII, № 4. – С. 15-21.
- 6 Ширязданов Р.Р., Рахимов М.Н., Мансуров И.С. Основные проблемы, особенности и перспективы переработки нефтезаводских газов // Нефтехимия. – 2010. – № 1. – С. 32-35.
- 7 Гильманов Х.Х., Нестеров О.Н., Ламберов А.А., Бекмухamedов Г.Э., Катаев А.Н., Егорова С.Р. Оптимизация технологии носителей для производства промышленных микросферических алюмохромовых катализаторов дегидрирования парафинов // Катализ в промышленности. – 2010. – № 1. – С. 53-61.
- 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 Мустафаева Г.Р., Салимова Н.А., Расулов С.Р. Технология переработки газов каталитического крекинга // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2012. – № 5. – С. 36-38.
- 10 Расулов С.Р., Мустафаева Г.Р., Махмудова Л.А. Перспективные катализаторы ароматизации пропана // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2012. – № 2. – С. 36-41.
- 11 Лукьянович В.М. Электронная микроскопия в физико-химических исследованиях. – М: Наука, 1960. – 290 с.
- 12 Паукштис Е.А. Инфракрасная спектроскопия в гетерогенном кислотно-основном катализе. – Новосибирск: Наука, 1992. – 225 с.
- 13 Ионе К.Г. Полифункциональный катализ на цеолитах. – Новосибирск: Наука, 1982. – 272 с.

## REFERENCES

- 1 Falkevich G.S., Rostanin N.N., Vilensky L.M., Inyaeva G. V., Nemira K.B., Nefedov B.K. *Catalysis in the industry*. 2002. N 2. P. 44-50 (in Russ).
- 2 Dedov A.G., Moiseyev I.I. Loktev A.S. Kuznetsov N. T. Ketsko V.A. Parkhomenko K.V. Kartashov I.Yu. *Chemistry and technology of fuels and oils*. 2005. N 2. P. 35-40 (in Russ).
- 3 Bulkatov A.N. *Neftepererabotka and petrochemistry*. 2008. N 10. P. 30-36 (in Russ).
- 4 Mamonov N.A., Fadeyev E.V., Grigoryev D.A., Mikhaylov M.N., Bushes L.M., Alkhimov S.A. *Achievements of chemistry*. 2013. T. 82. P. 567-585 (in Russ).
- 5 Dergachev A.A., Lapidus A.L. *Russian chemical magazine*. 2008. T. LII, N 4. P. 15-21 (in Russ).
- 6 Shiriyazdanov R.R., Rakhimov M.N., Mansurov I.S. *Petrochemistry*. 2010. N 1. P.32-35 (in Russ).
- 7 Gilmanov H.Kh. Nesterov O.N., Lamberov A.A. Bekmukhamedov G.E. Katayev A.N., Egorova S.R. *The Catalysis in the industry*. 2010. N 1. P.53-61 (in Russ).
- 8 Chasanoff E.I., Nazmiyeva I.F., Ziyatdinov A.Sh., Salakhov I.I. A.YU. *Petrochemistry*. 2012. T. 52, N 2. P. 97-103. (in Russ).
- 9 Mustafayeva G.R., Salimov N.A., Rasulov S.R. *Oil processing and petrochemistry*. 2012. N 5. P. 36-38 (in Russ).
- 10 Rasulov S.R., Mustafayeva G.R., Makhmudova L.A. *Oil processing and petrochemistry*. 2012. N 2. P. 36-41 (in Russ).
- 11 Lukianovich V.M. *Electronic microscopy in physical and chemical researches*. M: Science, 1960. 290 c. (in Russ).
- 12 Paukshtis E.A. *Infrared spectroscopy in heterogeneous acidic-alkaline catalysis*. Novosibirsk: Science, 1992. 225 c. (in Russ).
- 13 Jone K.G. *Multifunctional catalysis on zeolites*. Novosibirsk: Science, 1982. 272 p. (in Russ).

## Резюме

Б. Тұктин, Б. Багашарова, Л. Б. Шаповалова

(«Д. В. Сокольский атындағы Органикалық катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан)

## $C_2-C_4$ -АЛКАНДАРДЫ МОДИФИЦИРЛЕНГЕН ЦЕОЛИТҚҰРАМДЫ КАТАЛИЗАТОРЛАРДА АРОМАТТЫ ҚӨМІРСҮТЕКТЕРГЕ АЙНАЛДЫРУ

$C_2-C_4$  алкандардың ароматты қөмірсүтектерге айналдыру процесі ПК тобындағы цеолитқұрамды Fe<sub>x</sub>Zn және СЖЭ мен модифицирленген катализаторларда зерттелді.  $C_2-C_4$  алкандарды өндөу кезінде өнімнің

басым белігі толуол және бензол болып табылады.ПК тобындағы катализаторлардың бетінде қышқылдық (Бренстед және Льюс) орталықтары  $M^{n+}$ -металдышқ және аралас орталықтармен қатар орналасқан,олар катализатордың полифункционалдылығын қамтамасыз етеді.

**Тірек сөздер:** цеолитсодержащий катализатор, ароматические углеводороды,  $C_2-C_4$  алканы.

### **Summary**

*B. Tuktin, B. Bagasharova, L. B. Shapovalova*

(JSC «D. V. Sokolsky institute of organic catalysis and electrochemistry», Almaty, Kazakhstan)

### **$C_2-C_4$ -ALKANES TRANSFORMATION INTO AROMATIC HYDROCARBONS ON ZEOLITECONTANING MODIFICATED CATALYSTS**

Process of transformation of  $C_2-C_4$  of alkanes in aromatic hydrocarbons on zeolitecontaining the catalysts modified by metals with a variable valency (Fe, Zn) is investigated. The toluene and the benzene are the prevailing products. There are acid,  $M^{n+}$ -metal and mixed centers on a surface of catalysts. Coexistence of different the centers secures the polyfunctionality of catalysts.

**Keywords:** zeolite-containing catalyst, aromatic hydrocarbons,  $C_2-C_4$  alkanes.

*Поступила 01.04.2014г.*