

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 1, Number 1 (2015), 53 –60

UDC 665.656.2;622.361.16

**NI-CATALYSTS ON AL- AND Ti- PILLARED
MONTMORILLONITES IN n-HEXANE ISOMERIZATION**

A.K.Akurpekova^{*}, N.A.Zakarina^{*}, L.D.Volkova^{*},
N.N. Almakhanova^{**}, V.P.Grigorieva^{*}, A.A.Shapovalov^{*}

^{*}D.V.Sokolsky Institute of Organic Catalysis & Electrochemistry, Republic of Kazakhstan, Almaty,
050010.

^{**}Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty, 050040.

Key words: The isomerization, n-hexane, titan, mordenit, nickel, montmorillonite, the catalyst.

Abstract. Data on receiving and physical and chemical characteristics of the catalysts of an isomerization of n-hexane over Ni-catalysts with use as the carrier of alumina- and titan oxide- pillared montmorillonite, are presented.

It is shown that supporting nickel on pillared clays leads to decrease in quantity of micropores and growth of the mesopores. By the RFA method it is shown that introduction of aluminum leads to separation of layers of MM from 14,1 to 17,4 Å. For Ti - contact the basal reflection, equal to 13,8 Å, when putting nickel practically does not change (13,9 Å.) It is shown that the izomerizing direction of hydroconversion of n alkanes on Ni-catalysts is prevailing and conversion of n-hexane makes 30,9% at selectivity on C₆₊ isomers is 93,2% for Ti-contact. When using AlNaHMM as the carrier the greatest conversion is 23,4% at selectivity on C₆₊-isomers equal to 97,2%.

УДК 665.656.2;622.361.16

**Ni-КАТАЛИЗАТОРЫ НА СТОЛБЧАТЫХ AI И Ti
МОНТМОРИЛЛОНИТАХ В ИЗОМЕРИЗАЦИИ Н-ГЕКСАНА**

А.К. Акурпекова^{*}, Н.А.Закарина^{*}, Л.Д.Волкова^{*}, Н.Н.Алмаханова^{**},
В. П. Григорьева^{*}, А.А.Шаповалов^{*}

nelly_zakarina@rambler.ru, volkova_ld@rambler.ru, akurpekova@mail.ru
e-mail: akurpekova@mail.ru, nelly_zakarina@rambler.ru, volkova_ld@rambler.ru

^{*}АО Институт органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, Республика
Казахстан, Алматы, 050010

^{**}Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Факультет химии и химической
технологии, Алматы, 050040

Ключевые слова: изомеризация, н-гексан, титан, морденит, никель, монтмориллонит, катализатор.

Аннотация. Приведены данные по получению и физико-химическим характеристикам Ni-содержащих катализаторов изомеризации н-гексана с использованием в качестве носителей столбчатого алюминиевого и титанового монтмориллонитов.

Показано, что нанесение никеля на пилларированные глины приводит к снижению количества микропор и росту содержания мезопор. Методом РФА показано, что введение алюминия приводит к раздвижению слоев ММ от 14,1 до 17,4 Å. Для Ti- контакта базальный рефлекс, равный 13,8 Å, при нанесении никеля практически не меняется (13,9 Å.) Показано, что изомеризующее направление гидроконверсии н-алканов на Ni-катализаторах является превалирующим и конверсия н-гексана составляет 30,9% при селективности по C₆₊- изомерам 93,2% для Ti-контакта. При использовании AlNaHMM в качестве носителя наибольшая конверсия 23,4% при селективности по C₆₊-изомерам 97,2%.

Изомеризация легких бензиновых фракций в последнее десятилетие стала едва ли не самым востребованным процессом в нефтепереработке. Причина заключается в общемировой тенденции – полномасштабном переходе к выпуску экологически чистых автомобильных бензинов требующему включения в схему производства максимального количества неароматических высокооктановых компонентов [1].

В последние годы в литературе встречается большое количество работ по применению столбчатых глин в качестве катализаторов для различных реакций: гидроксилирования, алкилирования, дегидрирования, окисления, изомеризация, что говорит о перспективности этих материалов для многих процессов.

В настоящее время в процессах изомеризации н-алканов используют в основном катализаторы, содержащие благородные металлы (платина, палладий), выполняющие дегидрирующее-гидрирующую функцию, нанесенные на цеолит, осуществляющий кислотную функцию. Однако, судя по литературе, большой интерес для практического использования в промышленных масштабах представляют катализаторы нового поколения, не содержащие платиновых металлов. В качестве носителей все более широкое применение находят столбчатые глины [2, 3].

Целью настоящей работы является получение и исследование каталитической активности Ni-катализаторов, на столбчатом алюминиевом и титановом монтмориллоните (ММ) в гидроизомеризации н-гексана и отыскание корреляций активности с физико-химическими характеристиками катализаторов.

Синтез столбчатого (AlHMM и TiHMM) на основе Таганского ММ описан нами ранее [4, 5]. Текстурные характеристики образцов определяли методом БЭТ по низкотемпературной адсорбции азота на приборе ACCUSORB.

Рентгенофазовый анализ (РФА) синтезированных столбчатых глин и катализаторов на их основе проводили на дифрактометре DRON-4*0.7 с CoK_α-излучением. Дисперсность частиц металлов определяли электронно-микроскопически (ЭМВ-125) методом реплик с экстракцией с применением микродифракции. Катализаторы испытывали в гидроизомеризации модельного углеводорода н-гексана, являющегося компонентом промышленной пентан-гексановой фракции бензина прямойгонки, с целью получения высокооктановой составляющей бензина. Процесс проводили в интервале температур 250–400°C при атмосферном давлении водорода, мольном отношении H₂:C₆H₁₄=3,5 и объемной скорости подачи н-гексана, составляющей 0,82 ч⁻¹. Объем катализатора – 5 см³. Анализ продуктов реакции проводили методом ГЖХ с применением капиллярной колонки, заполненной скваланом.

Никелевые катализаторы (5 мас.% Ni) готовили методом пропитки столбчатого алюминиевого и титанового монтмориллонита, растворами нитрата никеля с последующим термическим разложением (500°C) до оксидов и дальнейшим восстановлением.

В таблице 1 приведены данные по изомеризации н-гексана на 5% Ni/AlNaHMM катализаторе при различных температурах. Максимальная конверсия н-гексана, равная 23,4% при 400°C, наблюдалась на NiAl(5,0)NaHMM-контакте.

Таблица 1 – Изомеризация н-гексана на 5% Ni/AlNaHMM – композитном катализаторе при соотношениях Al/NaHMM=2,5; 5,0 и 7,5ммоль/г

Решение Al:NaHMM	T, °C	α, %	S _{C6} , %	S _{C6+} , %	Состав продуктов реакции, %						
					н-C ₅	2 МБ	2,2 ДМБ	2 МП	3 МП	2,4 ДМП	3,3 ДМП
2,5	250	0,05	60,0	80,0	-	0,01	-	0,01	0,02	0,01	-
	300	4,2	76,0	86,0	-	0,6	-	1,8	1,4	0,4	-
	350	8,7	83,9	87,4	-	1,1	-	4,3	3,0	0,3	-
	400	10,7	84,1	92,5	-	0,8	-	5,3	3,7	0,4	0,5
5,0	250	4,7	85,1	95,7	-	0,2	-	2,3	1,7	0,2	0,3
	300	3,6	72,2	83,3	0,5 Соот но-	0,1	-	1,4	1,2	0,4	-

	350	4,5	91,1	100	-	0,1	0,5	2,0	1,6	0,3	-
	400	23,4	7,7	97,0	-	0,7	-	1,0	0,8	0,4	20,5
7,5	250	0,3	66,7	66,7	-	0,1	-	-	0,1	0,1	-
	300	3,4	70,1	79,4	0,6	0,1	-	1,3	1,1	0,3	-
	350	4,9	93,9	98,0	-	0,1	-	2,6	2,0	0,2	-
	400	5,3	90,6	96,2	-	0,2	-	3,4	1,4	0,3	-

В продуктах реакции обнаружены 2-метилбутан (2МБ), 2,2-диметилбутан (2,2 ДМБ), 2-метилпентан (2МП), 3-метилпентан (3МП) и С₇-изомеры 2,4-диметилпентан (2,4ДМП), 3,3-диметилпентан (3,3ДМП).

Для Ni/Al(5,0)NaHMM, как это видно из данных таблицы 1, содержание С₇-изомеров превалирует над с С₅ и С₆-изомерами. Концентрация 5,0 ммоль Al³⁺ на 1г глины является оптимальной для получения С₇-изомеров и общей конверсии н-гексана. Селективность процесса по С₆₊-изомерам составляет 97-100% при 350- 400°C.

Найденные закономерности иллюстрирует рисунок 1.

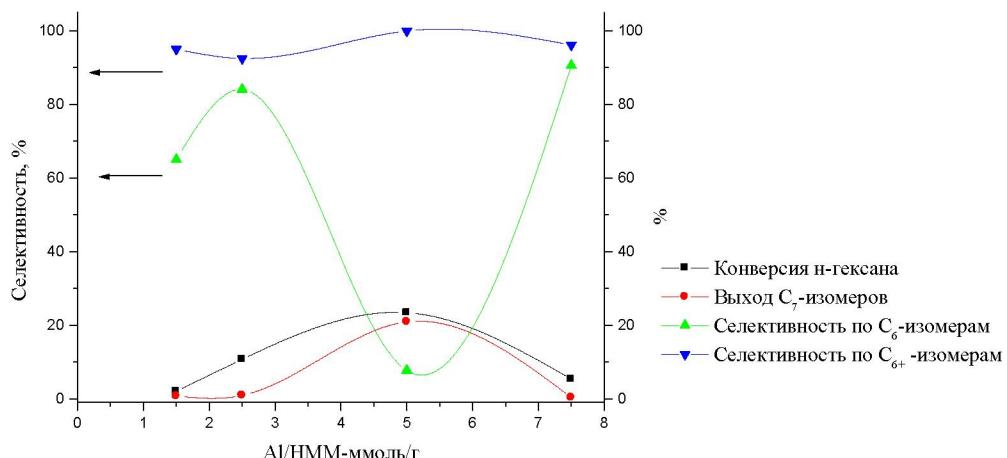


Рисунок 1 – Зависимость конверсии н-гексана, селективности по С₆₊ и С₆₋-изомерам и выхода С₇-изомеров на Ni-AlNaHMM катализаторе от соотношения Al/NaHMM

Как следует из рисунка 1, селективность процесса по С₆₊-изомерам составляет 100%, а по С₆₋-изомерам всего 7,7% для носителя Al(5,0)NaHMM.

Образование фазы Ni₂O₃ в 5% Ni/AlNaHMM-композитах подтверждают результаты электронно-микроскопические исследования (рисунок 2).

Небольшие округлые агрегаты капельного типа, составленные частицами размером 30-40 Å, могут быть отнесены к Ni₂O₃ (JCPDS, 14-481). Равнозначимы также аморфные частицы размером от 50 до 200 Å.

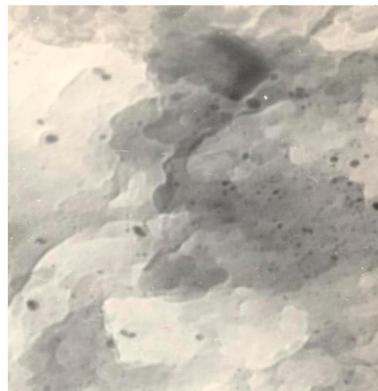


Рисунок 2 - Электронномикроскопический снимок Ni-катализатора, нанесенного на Al(7.5)ММ (Увеличение 120000)

Рассмотрим, как изменяются кислотные характеристики композита при изменении содержания пилларирующего агента (рисунок 3).

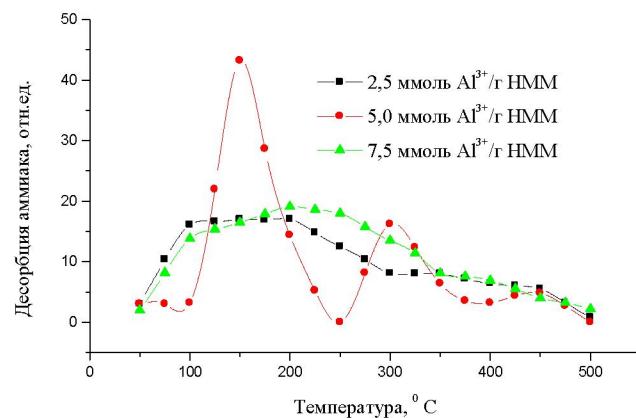


Рисунок 3 – Изменение кислотных характеристик Ni/AlNaHMM катализаторов по данным ТПД аммиака

Из приведенного рисунка 3 отчетливо видно смещение максимумов десорбции аммиака в высокотемпературную область с ростом концентрации пилларирующего агента. В области низких температур T_{\max} пиков последовательно смещаются от 100 к 150 и 200°C для соотношений 2,5; 5,0 и 7,5 ммоль/г, соответственно.

На AlNaHMM-системах кислотность с ростом соотношений AlNaHMM от 1,5 до 7,5 ммоль/г повышается от 246,2 до 580,5 мкмоль NH₃/г (таблица 2).

Таблица 2 – Кислотность 5% никелевых катализаторов на основе пилларированного AlNaHMM

Носитель	Содержание к.ц.	Кислотные центры			
		Слабые <200°C	Средние 200-300°C	Сильные >300°C	Общая кислотность
Al(2,5)H ММ	%	49,9	27,1	23,0	100
	мкмоль NH ₃ /г	119,2	64,8	54,8	238,8
Al(5,0)H ММ	%	59,7	12,9	27,4	100
	мкмоль NH ₃ /г	141,3	30,6	64,8	236,7
Al(7,5)H ММ	%	40,4	34,6	25,0	100
	мкмоль NH ₃ /г	103,5	88,7	64,1	256,3

При введении Ni в AlNaHMM-системы кислотность катализаторов снижается, но с ростом соотношений AlHMM от 1,5 до 7,5 ммоль/г повышается от 122,7 до 256,3 мкмоль NH₃/г. Интересно, что всплеск активности реакции диспропорционирования в процессе гидроизомеризации н-гексана с образованием C₇-изомеров приходится на Ni/Al(5,0)NaHMM образец с максимальным числом сильных (27,4%) и слабых (59,7%) кислотных центров.

Усиление направления диспропорционирования н-гексана на Ni/Al(5,0)NaHMM связано с повышением количества сильных кислотных центров по сравнению с образцами Ni/AlNaHMM

(1,5; 2,5 и 7,5) (таблица 2). Таким образом, на Ni катализаторе, нанесенном на сшитый алюминием Таганский монтмориллонит, н-гексан превращается со 100% селективностью в изомерные C₅₊-углеводороды в широком интервале температур 250-400°C.

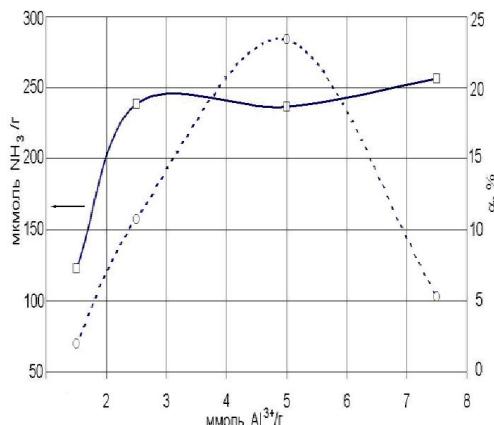


Рисунок 4 – Зависимость суммарной кислотности и конверсии н-гексана от соотношения Al³⁺/г NaHMM

При определенном соотношении Al³⁺/глина Ni/AlNaHMM катализатор при 400°C обладает повышенной активностью в диспропорционировании н-гексана с образованием изогептанов, что объясняется превалирующим количеством сильных кислотных центров при нанесении Ni на Al(5,0)NaHMM.

В таблице 3 и на рисунке 5 приведены экспериментальные и рассчитанные текстурные характеристики образцов Ni/AlNaHMM-катализаторов, определенные методами БЭТ и РФА.

Таблица 3 - Структурные и адсорбционные характеристики Ni/AlNaHMM-катализаторов (5% Ni) с различным соотношением Al³⁺/NaHMM

Катализатор Me-Al/HMM	d ₀₀₁ , Å	Δd, Å	S _{уд} м ² /г	V _{адж} см ³ /г	R, Å	D _{ср.} Å
Ni/Al(2,5)NaHMM	17,1	4,5 (3,0) [*]	190,1	0,356	12,0-75,0	74,9
Ni/Al(5,0)NaHMM	17,4	4,8 (3,3) [*]	206,4	0,417	10,0-60,0	80,8
Ni/Al(7,5)NaHMM	17,4	4,8 (3,3) [*]	196,6	0,668	12,0-50,0	95,3

* В скобках в столбце Δd приведены значения относительно NaHMM

Первые базальные рефлексы и значения Δd близки между собой и мало зависят от концентрации пилларирующего агента.

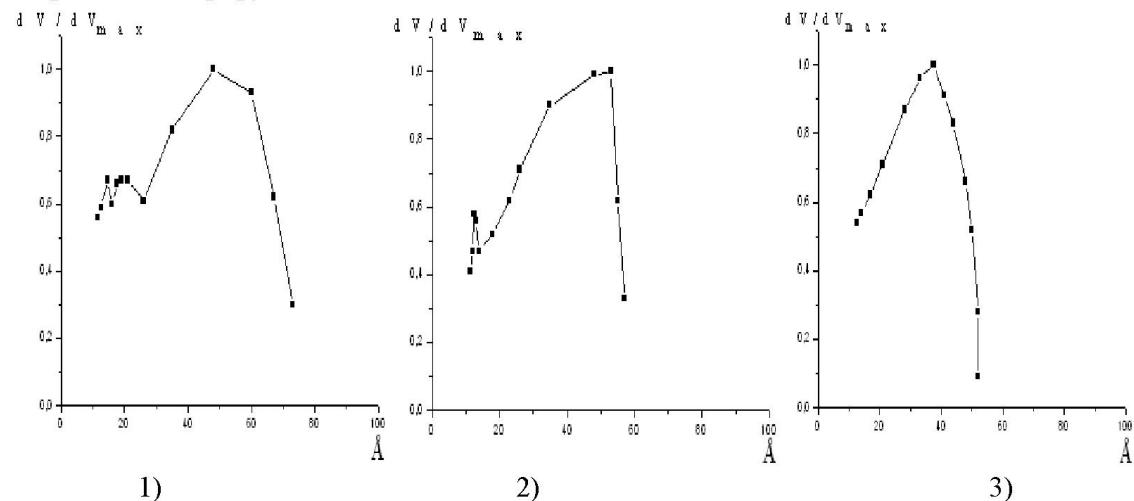


Рисунок 5 – Кривые распределения пор по их эффективным радиусам образцов пилларированного монтмориллонита: Ni-2,5 ммоль Al³⁺/гNaHMM (1); Ni- 5,0 ммоль Al³⁺/гNaHMM (2); Ni- 7,5 ммоль Al³⁺/гNaHMM (3)

Максимальное число мезопор приходится на Ni/Al(5,0)NaHMM-91,5% (таблица 4).

Таблица 4 – Изменение соотношений микропор и мезопор на Ni/AlNaHMM-катализаторе в зависимости от концентрации пилларирующего агента

Образец	АlНММ- ммоль/г	Содержание пор, %	
		< 20 Å	20-100 Å
Ni-AlNaHMM	2,5	14,4	85,6
	5,0	8,5	91,5
	7,5	16,8	83,2

По характеру кислотности наиболее близок к образцу Al(5,0)NaHMM титановый контакт NiTi(2,5)NaHMM. При меньшей общей кислотности 113,4 мкмоль NH₃/г содержание сильных к.ц. на нем составляет 25%.

При переходе к Ni-катализаторам, нанесенным на TiNaHMM, наблюдается значительное увеличение конверсии н-гексана. Так, на Ni/Ti(2,5)NaHMM - катализаторе конверсия н-гексана 12,9-31,1% в зависимости от температуры. Селективность по C₆₊- и C₆-изомерам также растет (таблица 5).

Таблица 5 – Изомеризация н-гексана на Ni/TiNaHMM-катализаторах

Катали- затор	T, °C	α, %	S _{C6} , %	S _{C6+} , %	Выход продуктов реакции, %							
					C ₁ .C ₃	i-Б	2- МБ	2,2- ДМБ	2,3- ДМБ	2М П	Σ изо- C ₇₊	Н- Геп т
Ni/Ti(2,5) NaHMM	300	22,4	84,5	95,3	0,9	-	0,1	11,1	7,8	-	2,4	-
	350	31,1	88,1	95,8	0,9	-	0,3	16,5	10,9	-	2,4	-
	400	25,6	81,0	95,6	0,7	-	0,3	12,3	8,4	-	3,6	-
Ni/Ti(5,0) NaHMM	300	13,4	81,3	95,0	0,5	-	0,1	6,2	-	4,7	1,8	0,1
	350	22,0	85,9	96,4	0,7	-	-	11,1	-	7,8	2,3	0,1
	400	19,4	80,0	96,4	0,5	-	0,1	8,9	-	6,6	3,2	0,1
Ni/Ti(7,5) NaHMM	300	19,8	52,0	84,8	0,4	2,6	-	4,8	-	5,5	6,5	-
	350	25,4	61,0	86,6	3,3	-	-	8,3	-	7,2	6,5	0,1
	400	30,9	67,6	93,2	0,6	1,1	0,3	11,6	-	9,3	7,9	0,1

Как видно из приведенных данных, никелевые катализаторы на TiNaHMM, проявляют достаточно высокую (до 31%) активность и селективность (до 95,8% по C₆₊-изомерам) в гидроконверсии н-гексана, несколько превышающую активность Al-контактов. Среди продуктов реакции на Ni/Ti(2,5)NaHMM найдено образование большого числа (до 27,4%) дизомеров. при 350°C. С увеличением концентрации Ti отмечено возрастание содержания в продуктах гидроконверсии C₇₊-изомеров.

Образование C₇-изомеров при большом числе сильных к.ц. также говорит о диспропорционировании н-гексана в процессе изомеризации н-гексана.

Изменение конверсии н-гексана и селективности по изомерам для изученных катализаторов в зависимости от температуры можно видеть из рисунка 6.

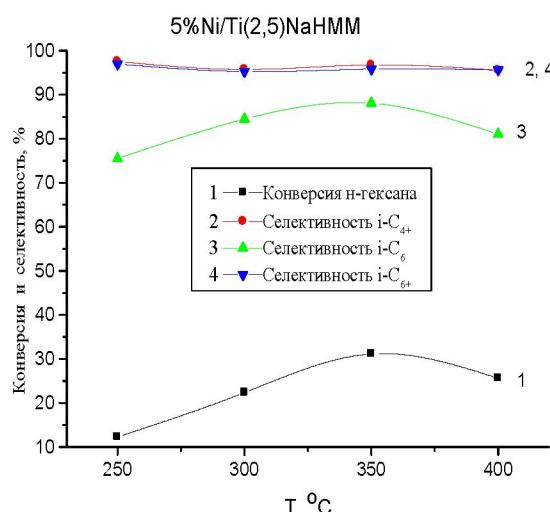


Рисунок 6 - Зависимость конверсии н-гексана и селективности по изомерам C_{4+} , C_6 и C_{6+} от температуры на 5%Ni/Ti(2,5)NaHMM-катализаторе

Отличительной особенностью NiTi(2,5)HMM контакта является образование на нем значительных количеств (до 27,4%) дизомерных гексанов (2,2 диметибутина и 2,3 диметилбутина), имеющих высокие значения октановых чисел (91,8 и 101,7 ед.) соответственно. C_7 -изомеры также дают высокий прирост о.ч.

Методом РФА изучены Ni-катализаторы, нанесенные на пилларированный Ti(2,5)NaHMM. Показано, что введение титана приводит к раздвижению слоев ММ с базальным рефлексом, равным 13,8 Å, который практически не меняется при нанесении никеля, оставаясь в пределах 13,9 Å.

По данным метода БЭТ на Ni/TiNaHMM-катализаторе увеличение концентрация титана в пилларирующем растворе приводит к росту удельной поверхности от 47,7 до 105,8 м²/г и общего объема пор от 0,223 до 0,355 см³/г. Наибольшее число мезопор отмечено для Ni/Ti(5,0)NaHMM и Ni/Ti(7,5)NaHMM-катализаторов.

Таблица 6 Характеристики Ni/TiNaHMM-катализаторов

Образец	S, м ² /г	Общий объем пор, см ³ /г	Относительное количество, %	
			Микропоры, (0-20Å)	Мезопоры, (20-80Å)
Ti(2,5)NaHMM	47,7	0,223	11,4	88,6
Ti(5,0)NaHMM	80,1	0,258	7,8	92,2
Ti(7,5)NaHMM	105,8	0,355	8,0	92,0

Увеличение концентрация титана в пилларирующем растворе приводит к росту удельной поверхности и общего объема пор. Наибольшее число мезопор отмечено для Ni/Ti(5,0)NaHMM и Ni/Ti(7,5)NaHMM-катализаторов – 92,2 и 90,0%, соответственно.

Сравнение таблиц 4 и 6 показывает, что Ti- контакты отличаются увеличенным по сравнению с AlNaHMM – образцами большим числом мезопор. Таким образом, повышенная активность Ti-контактов в изомеризации н-гексана может быть также связано с их пористой структурой.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о перспективности использования недорогих и доступных никелевых на пилларированной глине катализаторов для повышения октанового числа н-гексана, являющегося основным компонентом прямогоугольного бензина.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Шакун А.Н., Федорова М.Л. Эффективность различных типов катализаторов и технологий изомеризации легких бензиновых фракций // Катализ в промышленности. 2014. №5. С.29-37.

[2] Gil A., Landia L.M. Recent advances in the synthesis and catalytic applications of pillared clays // Catal. Rev. – Sci Eng. – 2000. – Vol.42, №1. – P.145-212.

[3] Садыков Т.Ф., Конькова Т.В., Алешина М.Б. Монтмориллонит со слоисто-столбчатой структурой для процесса фентона // Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т.26. №8. С.50-54.

[4] Закарина Н.А., Акурпекова А.К., Волкова Л.Д., Григорьева В.П., Шаповалов А.А. Изомеризация н-гексана на Pd-содержащем столбчатом алюминиевом монтмориллоните // Известия НАН РК, Серия химическая. 2005. №5. С.3-7.

[5] Закарина Н.А., Волкова Л.Д., Акурпекова А.К. Pt-, Pd-, Ni-содержащие катализаторы на титановом столбчатом монтмориллоните в гидроизомеризации н-гексана // Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы органического синтеза, электрохимии и катализа». - Караганда, 2006. С.133-136.

REFERENCES

- [1] Shakun A.N., Fedorova M. L. Effectiveness of various types of catalysts and technologies of an isomerization of easy petrol fractions. The Catalysis in the industry. 2014. No. 5. P. 29-37. (in Russ.)
[2] Gil A., Landia L.M. Recent advances in the synthesis and catalytic applications of pillared clays. Catal. Rev. – Sci Eng. – 2000. – Vol.42, №1. - P.145-212.
[3] Sadykov T.F., Konkovo T.V., Alekhina M. B. Montmorillonite with layered and column structure for Fenton's process. The progress in chemistry and chemical technology. 2012. V.26. No. 8. P. 50-54. (in Russ.)
[4] Zakarina N. A., Akurpekova A.K., Volkova L.D., Grigorieva V.P., Shapovalov of A.A. Izomerization of n-hexane on the Pd-containing column aluminum montmorillonite. Nwes of NAS RK, Chemical series. 2005. No. 5. Page 3-7. (in Russ.).
[5] Zakarina N. A., Volkova L.D., Akurpekova A.K. Pt-, Pd-Ni-containing catalysts on titanic column omontmorillonite in a hydroisomerization of n-hexane. The International scientific and practical conference "Advanced topics of Organic Synthesis, Electrochemistry and Catalysis". - Karaganda, 2006. P. 133-136. (in Russ.)

ТИТАНМЕН ПИЛЛАЛИРЛЕНГЕН МОНТМОРИЛЛОНИТКЕ ОТЫРҒЫЗЫЛҒАН МОРДЕНІТПЕН ТҮРЛЕНДІРЛІГЕН Ni-КАТАЛИЗАТОРЫНЫң Қ-ГЕКСАНДАҒЫ ИЗОМЕРИЗАЦИЯСЫ

А.К. Акурпекова*, Н.А.Закарина*, Л.Д.Волкова*, Н.Н.Алмаханова**,

В.П. Григорьева*, А.А.Шаповалов

e-mail: akurpekova@mail.ru, nelly_zakarina@rambler.ru, volkova_ld@rambler.ru

*Д.В. Сокольский атындағы Органикалық катализ және электрохимия институты АҚ, Қазақстан
Республикасы, Алматы, 050010

**Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, химия және химиялық технология факультеті
Қазақстан Республикасы, Алматы, 050040

Тірек сөздер: изомеризация, қ-гексан, титан, морденит, никель, монтмориллонит, катализатор.

Аннотация. Морденитпен түрлендіріп тасымалдағыш ретінде бағаналы титан монтмориллонитін қолданып Ni-құрамды катализаторларының қ-гексан изомеризациясындағы физико – химиялық сипаттамалары мен алу жолдары бойынша мәліметтер келтірілген. Никельді титанмен пиллалирленген монтмориллонитке отырғызғанда микрокеуектердің санының төмендеуіне және мезокеуектердің өсуіне алып келетіндігі көрсетілген. РФА әдісі бойынша алюминийдің енгізу нәтижесінде ММ қабаттары 14,1-ден 17,4 Å-ге дейін ашылуы көрсетілді. Ті-байланыста базалдық рефлекс 13,8 Å тең, никельдің енгізгенде айтарлықтай өзгеріс болмады 13,9 Å. Ті-байланыста C_{6+} - изомер бойынша селективтілігі 93,2%, қ-гексанның конверсиясы 30,9% құрайды қ-алкан гидроконверсиясының изомер бағытында Ni-катализаторының басым екендігі көрсетілген. Тасымалдағыш ретінде AlNaHMM қолданғанда қ-гексанның конверсиясы 23,4% C_{6+} - изомер бойынша селективтілігі 97,2%, құрайды.

Сведения об авторах

А.К. Акурпекова, к.х.н., с.н.с., АО Институт органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, г. Алматы, ул. Кунаева 142, тел. 291-67-90

Н.А. Закарина, д.х.н, профессор, АО Институт органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, г. Алматы, ул. Кунаева 142, тел. 291-67-90

Л.Д. Волкова, к.х.н, в.н.с., АО Институт органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, г. Алматы, ул. Кунаева 142, тел. 291-67-90

Н.Н. Алмаханова, магистрант, Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Факультет химии и химической технологии, г. Алматы, аль-Фараби 71, тел. 274-77-70.

В.П. Григорьева н.с., АО Институт органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, г. Алматы, ул. Кунаева 142, тел. 291-79-19

А.А. Шаповалов к.х.н., с.н.с., АО Институт органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, г. Алматы, ул. Кунаева 142, тел. 291-79-19

Поступила 27.12.2014 г.