

NEWS

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

ISSN 2224-5286

Volume 6, Number 408 (2014), 55 – 61

**THE INVESTIGATION OF INFLUENCE OF THE HIGH-SILICA
ZEOLITE ON THE PROPERTIES Mo/Al_2O_3+ZSM CATALYST
IN NON-OXIDATIVE METHANE CONVERSION**

B. Tuktin, L. B. Shapovalova, R. I. Egizbaeva, A. S. Tenizbaeva

The D. V. Sokolsky Institute of Organic Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: ioce.kz@gmail.com

Key words: methane, zeolite, catalyst, benzene.

Abstract. It was investigated the non-oxidative methane conversion on molybdenum-containing catalysts deposited on Al_2O_3 and modified with zeolite ZSM. It was studied the effect of the quantity of zeolite-modifier, temperature and the reaction duration on the degree of conversion of methane and the composition of the formed compounds.

УДК 541.128.13;665.644.26; 665.658.62

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОКРЕМНЕЗЕМИСТОГО
ЦЕОЛИТА НА СВОЙСТВА Mo/Al_2O_3 КАТАЛИЗАТОРА
В ПРОЦЕССЕ НЕОКИСЛИТЕЛЬНОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА**

Б. Туктин, Л. Б. Шаповалова, Р. И. Егизбаева, А. С. Тенизбаева

Институт органического катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: метан, цеолит, бензол, катализатор.

Аннотация. Исследован процесс неокислительной конверсии метана на молибденсодержащих катализаторах, нанесенных на Al_2O_3 и модифицированных цеолитом ZSM. Изучалось влияние количества цеолита-модификатора, температуры и продолжительности проведения реакции на степень превращения метана и состав образующихся соединений.

До настоящего времени природный газ используется в качестве сырья лишь в небольшом числе технологических процессов. Все процессы получения продуктов нефтехимии из природного газа характеризуются высокими энергетическими и материальными затратами. Эти процессы сложны и, зачастую, малорентабельны вследствие большого количества стадий и низкого выхода целевого продукта. Существенные осложнения вызывает наличие серосодержащих соединений в углеводородном сырье и товарной продукции. Для эффективного использования углеводородных газов в качестве сырья нефтехимического синтеза необходимы новые способы их переработки и катализаторы.

Ароматические углеводороды, в особенности бензол, толуол, этилбензол и ксилолы, являются важными химическими продуктами массового производства в нефтехимической промышленности. В настоящее время ароматические соединения получают, в основном, из фракций нефти, используя процесс каталитического реформинга. Однако, по мере того, как мировые запасы нефти уменьшаются, возрастает потребность альтернативных источников ароматических углеводородов.

Одним возможным альтернативным источником получения ароматических углеводородов служит метан, который является основным компонентом природного газа и биогаза. Начиная с 90-х годов прошлого века, проводятся исследования по прямому преобразованию CH_4 в бензол. Ароматизация метана является частью более широкой проблемы ароматизации алканов. Ароматизация n-алканов имеет двойную цель: получение высокооктанового жидкого топлива и отдельных ароматических углеводородов для нефтехимического синтеза [1-4].

В данной работе исследован процесс неокислительной конверсии метана на молибденсодержащих катализаторах, нанесенных на Al_2O_3 и модифицированных цеолитом ZSM. Изучалось влияние количества цеолита-модификатора, температуры и продолжительности проведения реакции на степень превращения метана и состав образующихся соединений.

Экспериментальная часть

Катализаторы готовили методом пропитки Al_2O_3 +ZSM композиции водным раствором азотнокислой соли молибдена последующей сушкой и прокаливанием при 550°C в течение 5 ч.

Были приготовлены следующие составы катализаторов:

1. $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ +70% ZSM (катализатор КПМ-2)
2. $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ +50% ZSM катализатор КПМ-6)
3. $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ + 60% ZSM (катализатор КПМ-7)

Процесс неокислительной конверсии метана и природного газа проводили в установке проточного типа при варьировании температуры в пределах $600 - 800^\circ\text{C}$ и $P = 0,1$ МПа, соотношение метан : аргон = 1 : 1; природный газ : аргон = 1:1. Состав природного газа: метан- 88,4%, этан – 8,5%, пропан + пропилен – 2,6%, изобутан + бутан – остальное.

Состав исходных и образующихся соединений анализировали на хроматографе ЛХМ-8, колонка $350 \cdot 0,5$ см, заполненная фазой полисорб -1 + 15% ПЭГ- 20 000.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены данные о влиянии температуры и продолжительности проведения процесса на степень превращения и состав образующихся соединений при неокислительной конверсии метана в ароматические углеводороды на катализаторе $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ +50% ZSM (КПМ -6). Установлено, что при температурах $<600^\circ\text{C}$ катализатор не активен. При повышении температуры до 600°C наблюдается увеличение степени превращения метана.

При $t = 600^\circ\text{C}$ в течение 75 минут от начала реакции ($\tau = 75$ мин) конверсия метана на катализаторе КПМ-6 равна 20,7%, в следовых количествах образуется бензол. По мере увеличения времени протекания реакции конверсия метана незначительно снижается, выход бензола увеличивается: при $\tau = 180$ мин, конверсия $\text{CH}_4 = 19,3\%$, количество бензола – 1,2 %. С увеличением времени продолжительности реакции до $\tau = 300$ мин конверсия метана понижается до 12,7%, выход бензола – 20,4%. Однако через час ($\tau = 360$ мин) при практически неизменной степени конверсии метана (12,1%) количество образующегося бензола снижается до 15,4%. Кроме того, в интервале 240-360 мин в катализате обнаружены следовые количество толуола, т.е. имеет место период разработки (индукционный период), во время которого формируются поверхностные центры катализатора для активации молекул метана и образования ароматических соединений.

При 650°C , также как и при 600°C , в течение длительного времени ($\tau = 120$ мин) наблюдается поглощение метана, снижающееся от 27,3% ($\tau = 30$ мин) до 16, 2 % ($\tau = 120$ мин). В этих условиях наблюдается образование водорода, СО и следовых количеств бензола. При $t=650^\circ\text{C}$ бензол (7,1%) появляется через 180 мин от начала реакции, (конверсия метана = 18,3%). При $\tau = 340$ мин конверсия метана снижается до 12,9 % , количество образующегося бензола составляет 26,5%. При дальнейшем продолжении опыта катализатор сохраняет стабильную активность: при $\tau=760$ мин конверсия $\text{CH}_4 = 12,3$ %, содержание бензола равно 25,7%, толуола – следы.

При $t=700^\circ\text{C}$ бензол (5,4%) появляется через 240 мин при конверсии метана 15,2%. При $\tau = 300$ мин конверсия метана повышается до 19,2%, не меняясь длительное время: 20,0% при $\tau = 720$ мин. Выход бензола в этих условиях колеблется в пределах 19,2 -31,6%. При $\tau = 960$ мин конверсия CH_4

Таблица 1 – Неокислительная конверсия метана на $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZSM} (50\%)$ - катализаторе (КПМ-6)

Температура, °С	τ , мин	Конверсия метана, %	Выход продуктов, %		
			бензол	толуол	ксилолы
600	75	20,7	–	–	–
	120	18,6	сл	–	–
	180	19,3	1,2	–	–
	240	13,0	13,5	сл	–
	300	12,7	20,4	сл	–
	360	12,1	15,4	сл	–
650	30	27,3	–	–	–
	120	16,2	–	–	–
	180	18,3	7,1	сл	–
	240	12,2	21,5	сл	–
	300	10,4	22,9	сл	–
	340	12,9	26,5	сл	–
	580	13,5	25,3	сл	–
	640	12,5	24,5	сл	–
700	760	12,3	25,7	сл	–
	30	39,5	–	–	–
	240	15,2	5,4	–	–
	300	19,9	19,2	–	–
	360	19,9	31,5	сл	–
	540	10,9	29,4	сл	–
	600	10,5	35,5	сл	–
	660	19,2	34,9	сл	–
	720	20,0	31,6	сл	сл
	780	10,8	34,7	сл	сл
	840	15,5	33,2	сл	сл
	900	11,1	29,7	сл	сл
800	960	11,7	26,0	сл	сл
	75	21,9	–	–	–
	120	15,7	7,4	сл	–
	180	12,3	7,1	сл	–
	240	12,7	8,6	сл	–
	300	13,2	7,0	сл	–
	360	12,4	5,0	сл	–
	390	12,0	5,8	сл	сл
	420	13,7	5,6	сл	сл
	480	14,7	3,4	сл	сл
540	14,3	3,1	сл	сл	

снижается до 11,7 %, содержание бензола равно 26,0%, толуола – следы. Необходимо отметить, что увеличение количества бензола при неизменной конверсии метана происходит за счет C_x - и C_xH_y -фрагментов, образующихся в первые моменты контакта метана с поверхностью катализатора [5-7].

Данные, представленные в таблице 1, показывают, что при $t_{\text{оп}}=800^\circ\text{C}$ длительность индукционного периода сокращается: уже при $\tau=120$ мин конверсия $\text{CH}_4 = 15,7\%$, в продуктах реакции обнаружено 7,4% бензола. С течением времени конверсия метана снижается и течение $\tau = 180$ -480 мин колеблется в пределах 12,3- 14,7%. Следует отметить, при 800°C образуется значительно меньше бензола, чем при более низких температурах. Его выход не превышает 8,6%

($\tau = 240$ мин) и понижается до 3,1% при $\tau = 540$ мин. Необходимо отметить, что при 800°C наблюдается значительное зауглероживание поверхности Mo/Al₂O₃+50% ZSM катализатора (КПМ -6).

В равных условиях (700°C) индукционный период на Mo/Al₂O₃+60% ZSM (катализатор КПМ -7) продолжается ≈ 300 мин, тогда как на КПМ-6 – 240 мин (таблицы 1 и 2). По окончании индукционного периода степень конверсии метана на (Mo/Al₂O₃+60% ZSM катализаторе при $t=700^\circ\text{C}$ медленно растет от 18,8 ($\tau=360$ мин) до 24,0% ($\tau=1380$ мин), наблюдается увеличение количества бензола от 19,7 до 37,1%. Спустя 1440 минут конверсия CH₄ составляет 20,0%, но при этом количество бензола в катализате практически не меняется – 36,7%. В течение следующих 5 часов ($\tau=1740$ мин) конверсия CH₄ остается постоянной, но количество бензола несколько уменьшается – 34,7% (таблица 2). Кроме бензола на катализаторе КПМ-7 при 700°C ($\tau = 600$ мин) появляются его алкилпроизводные толуол (0,9-3,0%) и ксилолы (следовые количества).

Таблица 2 – Неокислительная конверсия метана на Mo/Al₂O₃+ZSM (60%) катализаторе (КПМ-7)

Температура, °C	τ , мин	Конверсия метана, %	Выход продуктов, %		
			бензол	толуол	ксилолы
700	30	21,0			
	300	19,0			
	360	18,8	19,7		
	420	18,8	32,9		
	480	18,2	38,2		
	540	18,8	37,8		
	600	18,1	38,4	0,9	
	660	18,7	41,0	1,0	
	720	19,4	40,6	0,9	
	780	19,8	38,8	1,1	
	840	20,9	38,9	1,5	сл
	900	19,6	38,1	1,7	сл
	960	20,3	39,0	1,7	сл
	1020	20,1	37,8	1,6	сл
	1080	20,0	36,3	1,5	сл
	1140	22,6	36,9	1,6	сл
	1200	22,3	36,9	1,5	сл
	1260	23,7	36,9	1,8	сл
	1320	24,7	37,1	1,6	сл
	1380	24,0	37,1	1,3	сл
1440	20,0	36,7	1,7	сл	
1500	18,1	36,5	1,7	сл	
1560	18,0	36,1	1,7	сл	
1620	19,0	34,7	1,2	сл	
1680	19,0	32,0	2,6	сл	
1740	20,5	34,7	3,0	сл	
800	30	21,8	–		
	75	20,4	33,0	сл	
	120	19,4	33,5	сл	
	180	19,5	38,3	сл	
	240	19,3	38,2	сл	
	300	14,7	32,8	0,7	
	360	18,8	33,1	0,7	сл
	420	8,8	24,7	0,7	сл
	480	9,3	23,3	0,7	сл

При 800°C продолжительность индукционного периода в процессе неокислительной конверсии метана на катализаторе КПМ-7 сокращается до 75 мин. При $\tau = 75$ мин конверсия метана составляет 20,4, выход бензола – 33,0 %. Через 8 часов от начала реакции ($\tau = 480$ мин) конверсия метана и количество образующегося бензола существенно понижаются до 9,3 и 23,3% соответственно.

Исследование процесса неокислительной конверсии метана на $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 70\% \text{ ZSM}$ (катализатор КПМ-2) показало, что повышение содержания цеолита в составе катализатора до 70% сопровождается значительным увеличением длительности индукционного периода (таблица 3).

Таблица 3 – Неокислительная конверсия метана на $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZSM}$ (70%) катализаторе (КПМ-2)

Температура, °C	τ , мин	Конверсия метана, %	Выход продуктов, %		
			бензол	толуол	ксилолы
800	30	14,2			
	75	19,9			
	180	12,4	3,3		
	240	14,4	13,6		
	420	16,5	21,5		
	480	27,8	42,1		
	540	17,5	40,7		
	600	19,5	37,1	0,6	
	630	19,5	37,2	2,8	сл
	675	22,4	40,6	2,5	сл
	720	30,0	43,6	0,7	сл
	780	29,8	48,2	0,9	сл
	840	29,9	46,2	0,8	сл
	900	22,0	40,0	0,7	сл
	960	22,0	34,9	0,7	сл
	1080	18,7	38,1	1,1	сл
	1140	17,8	36,8	0,7	сл
	1200	16,9	36,8	0,9	сл
	1260	8,8	35,5	1,2	сл
	1320	4,0	29,4	1,8	сл
1380	6,0	29,1	1,1	сл	

Так, при температурах $\leq 700^\circ\text{C}$ индукционный период продолжается более 6 часов и при продолжении опыта катализатор практически не активен. С повышением температуры опыта до 800°C продолжительность индукционного периода существенно сокращается – до 180 мин. Конверсия метана на катализаторе КПМ-2 при 800°C растет по мере увеличения длительности опыта и достигает максимального значения (30,0%) при $\tau = 720$ мин, практически не меняясь до $\tau = 840$ мин. В этих условиях выход бензол составляет 43,6-48,2%, толуола – 0,7-0,9%. При дальнейшем продолжении опыта активность катализатора понижается: при $\tau = 1380$ мин конверсия CH_4 – 6,0%, содержание бензола равно 29,1% толуола – 1,1 %.

Таким образом, анализ результатов, полученных при исследовании неокислительной конверсии метана на катализаторах КПМ-2, КПМ-5 и КПМ-7 показывает, что процесс имеет определенной индукционный период, длительность которого зависит как от концентрации цеолита в составе катализатора, так и от температуры проведения процесса.

Наличие индукционного периода в процессе неокислительной конверсии метана отмечается многими исследователями [8-14] и нами [15,16]. С одной стороны, во время индукционного периода под воздействием реакционной среды формируется поверхность катализатора, т.е. устанавливается определенное окислительно-восстановительное равновесие компонентов активной фазы, стабилизируется структура и дисперсность центров, обеспечивающих активацию метана.

С другой стороны, при хемосорбции метана на активных центрах катализатора имеет место диссоциация его молекулы с образованием углерода и C_xH_y -фрагментов. Причем, как показано в работах [8-13], углерод на поверхности молибденосодержащих катализаторов существует в двух формах, одна из которых блокирует кислотные центры в каналах цеолита, другая –восстанавливает кластеры молибдена и, в основном, локализуется на внешней поверхности цеолита.

Следует отметить, что образующиеся на катализаторе углеродистые структуры обладают невысокой степенью поликонденсации, как это отмечается в [12]. Поэтому имеет место полное их удаление в процессе окислительной регенерации катализатора, проводимой нами при $550^{\circ}C$ в потоке воздуха. В этих условиях не происходит разрушение кристаллической структуры цеолита.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] 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.
- [2] Skutil L., Taniewski M. Some technological aspects of methane aromatization (direct and via oxidative coupling) // *Fuel Processing Technology*. – 2006. – Vol. 87. – P. 511-521.
- [3] Choudhary T.V., Aksoylu E., Goodman D.W. Nonoxidative Activation of Methane // *Catalysis reviews*. – 2003. – Vol. 45, N 1. – P. 151-203.
- [4] Госсен Л.П., Величкина Л.М. Экологические проблемы использования нефтегазовых запасов и получения высококачественных нефтепродуктов // *Нефтехимия*. – 2012. – Т. 52, № 2. – С. 154-158.
- [5] Szoke A., Solymosi F. Selective oxidation of methane to benzene over $K_2MoO_4/ZSM-5$ catalysts // *Appl. Catal. A-Gen.* – 1996. – Vol. 142. – P. 361-374.
- [6] Solymosi F., Cserenyi J., Szoke A., Bansagi T., Oszko A. Aromatization of methane over supported and unsupported Mo-based catalysts // *J. Catal.* – 1997. – Vol. 165. – P. 150-161.
- [7] Solymosi F., Bugyi L., Oszko A., Horvath I. Generation and reactions of CH_2 and C_2H_5 species on $Mo_2C/Mo(111)$ surface // *J. Catal.* – 1999. – Vol. 185. – P. 160-169.
- [8] Jiang H., Wang L.S., Cui W., Xu Y.D. Study on the induction period of methane aromatization over $Mo/HZSM-5$: partial reduction of Mo species and formation of carbonaceous deposit // *Catal. Lett.* – 1999. – Vol. 57. – P. 95-102.
- [9] Weckhuysen B.V., Dingjun Wang Rosynek M.P., Jack H. Lunsford J.H. Catalytic Conversion of Methane into Aromatic Hydrocarbons over Iron Oxide Loaded ZSM-5 Zeolites // *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* – 1997. – Vol. 36, N 2. – P. 55-62.
- [10] 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. – Vol. 82, N 6. – P. 567-585.
- [11] Восмериков А.В., Ечевский Г.В., Корибицына Л.Л., Барбашин Я.Е. Дезактивация Мо-содержащих цеолитов в процессе неокислительной конверсии метана // *Кинетика и катализ*. – 2005. – Т. 46, № 5. – С. 769-772.
- [12] Шетиан Лю, Линшэн Ванг, Рюнтиро Ониси, Масару Иппикава. Дегидроароматизация метана в бензол и нафталин на бифункциональном катализаторе $Mo/HZSM-5$ в присутствии добавок CO/CO_2 // *Кинетика и катализ*. – 2000. – Т. 41, № 1. – С. 148-160.
- [13] Исмагилов З.Р., Матус Б.В., Керженцев М.А., Цикоца Л.Т., Исмагилов И.З. Конверсия метана в ценные продукты в присутствии наноструктурированных $Mo/ZSM-5$ - катализаторов // *Нефтехимия*. – 2011. – Т. 51, № 3. – С. 186-198.
- [14] Шетиан Лю, Линшэн Ванг, Рюнтиро Ониси, Масару Иппикава. Дегидроароматизация метана в бензол и нафталин на бифункциональном катализаторе $Mo/HZSM-5$ в присутствии добавок CO/CO_2 // *Кинетика и катализ*. – 2000. – Т. 41, № 1. – С. 148-160.
- [15] Туктин Б., Шаповалова Л.Б., Егизбаева Р.И., Комашко Л.В. Неокислительная конверсия метана в ароматические углеводороды на монометаллических молибденосодержащих катализаторах // *Известия НАН РК. Серия химия и технология*. – 2013. – № 6. – С. 40-45.
- [16] Туктин Б., Шаповалова Л.Б., Егизбаева Р.И., Шаповалов А.А. Неокислительная конверсия метана в ароматические углеводороды на Mo/Al_2O_3 и $Mo-Co/Al_2O_3$ катализаторах, промотированных цеолитом ZSM // *Известия НАН РК. Серия химия и технология*. – 2013. – № 6. – С. 46-51.

REFERENCES

- [1] Lunsford J.H. *Catalysis Today*. 2000. Vol. 63. P. 165-174.
- [2] Skutil A., Taniewski M. *Fuel Processing Technology*. 2006. Vol. 87. P. 511-521.
- [3] Choudhary T.V., Aksoylu E., Goodman D.W. *Catalysis reviews*. 2003. Vol. 45, N 1. P. 151-203.
- [4] Gossen L.P., Velichkina L.M. Ecological problems of oil and gas reserves and producing high-quality products. *Neftehimiya*. 2012. T. 52, N 2. S. 154-158 (in Russ).
- [5] Szoke A., Solymosi F. *Appl. Catal. A-Gen.* 1996. Vol. 142. P. 361-374.
- [6] Solymosi F., Cserenyi J., Szoke A., Bansagi T., Oszko A. *J. Catal.* 1997. Vol. 165. P. 150-161.
- [7] Solymosi F., Bugyi L., Oszko A., Horvath I. *J. Catal.* 1999. Vol. 185. P. 160-169.
- [8] Jiang H., Wang L.S., Cui W., Xu Y.D. Study on the induction period of methane aromatization over $Mo/HZSM-5$: partial reduction of Mo species and formation of carbonaceous deposit // *Catal. Lett.* 1999. Vol. 57. P. 95-102.
- [9] Weckhuysen B.V., Dingjun Wang, Rosynek M.P., Lunsford J.H. *Catalytic Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 1997. Vol. 36, N 2. P. 55-62.

- [10] Mamonov N.A., Fadeev E.V., Grigoriev D.A., Mikhailov M.N., Kusing L.M. // RUSS CHEM. 2013. Vol. 82, N 6. P. 567-585. (in Russ).
- [11] Vosmerikov A.V., Echevsky G.V., Korobitsina L.L., Barbashin J.E. Kinetics and Catalysis. 2005. Vol. 46, N 5. C. 769-772. (in Russ).
- [12] Shetian Liu, Wang Linsheng, Ryuntiro Onishi, Masaru Ishikawa Kinetics and Catalysis. 2000. Vol. 41, N 1. C. 148-160.
- [13] Ismagilov Z.R., Matus B.V., Kerzhentsev M.A., Tsikoza L.T., Ismagilov I.Z. Petrochemicals. 2011. Vol. 51, N 3. C. 186-198. (in Russ).
- [14] Shetian Liu, Wang Linsheng, Ryuntiro Onishi, Masaru Ishikawa. Kinetics and Catalysis. 2000. Vol. 41, N 1. C. 148-160. (in Russ).
- [15] Tuktin B., Shapovalova L.B., Egizbaeva R.I., Komashko L.V. Proceedings of National Academy of Sciences of Kazakhstan. A series of chimia and technology. 2013. N 6. S. 40-45. (in Russ).
- [16] Tuktin B., Shapovalova L.B., Egizbaeva R.I., Shapovalov A.A. Proceedings of National Academy of Sciences of Kazakhstan. A series of chemistry and technology. 2013. N 6. S. 46-51 (in Russ).

**МЕТАНДЫ ТОТЫҚТЫРМАЙ КОНВЕРСИЯЛАУ ПРОЦЕСІНДЕ
ЖОҒАРЫ КРЕМНЕЗЕМДІ ЦЕОЛИТТІҢ Mo/Al_2O_3 КАТАЛИЗАТОРЫНЫҢ
ҚАСИЕТІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ**

Б. Туктин, Л. Б. Шаповалова, Р. И. Егизбаева, А. А. Тенизбаева

Д. В. Сокольский атындағы органикалық катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: метан, цеолит, бензол, катализатор.

Аннотация. Метанды тотықтырмай конверсиялау процесі молибденқұрамды Al_2O_3 отырғызылған және ZSM цеолитімен модифицирленген катализаторлар зерттелді. Температура мен жүргізу уақытында цеолит-модификаторының мөлшерінің әсері зерттелді.

Поступила 11.11.2014г.