

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 5, Number 413 (2015), 16 – 22

**MODIFIED BY CHROMIUM AND BORON
ZEOLITE CONTAINING CATALYSTS
OF THE CONVERSION OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS**

A. Zh. Kubasheva, B. Tuktin

Institute of Fuels, Catalysis and Electrochemistry. D. V. Sokolsky, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: alma130467@mail.ru

Keywords: catalyst, conversion, dehydrogenation, alkanes, olefins.

Abstract. The catalytic and physicochemical properties of chromium and zeolite containing catalysts modified by boron for the conversion of the liquefied petroleum gas (LPG) to low olefins are investigated. Influence of boron concentration in the catalyst on the conversion of LPG and yield of olefins is studied. It is shown that the most high conversion of C₄ alkanes is received on the catalyst 1%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ and equal to 98-99% at temperature 600-630°C. The conversion of C₄ and total yield of the olefins are decreased with the increasing of the concentration of boron and reduction of specific surface of catalysts. The maximum yields of olefins are received over 1%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ with a greater specific surface (301.9 m²/g) and volume of pores 0,339 cm³/g. It was determined that at the increasing of volume velocity of LPG from 250 to 600 h⁻¹ the conversion of C₄ and yield of ethylene are decreased, but the yields of propylene and aromatic hydrocarbons are increased. The high yield of C₂-C₄ olefins (67,8%) is formed at the temperature of 630°C and optimal volume velocity of LPG - 400 h⁻¹. The acidic centers of catalysts by the method of TPD of ammonia are investigated.

УДК 541.128: 546.776

**ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ
ХРОМОМ И БОРОМ КАТАЛИЗАТОРЫ
ДЛЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ
СЖИЖЕННОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА**

А. Ж. Кубашева, Б. Туктин

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

Ключевые слова: катализатор, конверсия, дегидрирование, алканы, олефины.

Аннотация. Исследованы катализитические и физико-химические свойства хром- и цеолитсодержащих катализаторов, модифицированных бором, в процессе переработки сжиженного нефтяного газа в низшие олефины. Изучено влияние концентрации бора на конверсию СНГ и выход олефинов. Найдено, что наиболее высокая конверсия C₄ алканов имеет место на 1%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ катализаторе и составляет 98-99% при 600-630°C. С увеличением концентрации бора и уменьшением удельной поверхности катализаторов снижаются конверсия C₄ и суммарный выход олефинов. На 1%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ с большей удельной поверхностью (301,9 м²/г) и объемом пор 0,339 см³/г получены максимальные выходы олефинов. Установлено, что при повышении объемной скорости подачи СНГ от 250 до 600 ч⁻¹ уменьшаются конверсия C₄ и выход этилена, но увеличиваются выходы пропилена и ароматических углеводородов. При температуре 630°C и оптимальной объемной скорости подачи СНГ 400 ч⁻¹ образуется 67,8 % C₂-C₄-олефинов. Методом ТПД аммиака исследованы кислотные центры катализаторов.

Легкие С₁-С₄ алканы, являющиеся основными компонентами природных, попутных и нефте заводских газов, могут быть превращены в олефиновые и ароматические углеводороды в присутствии катализаторов [1-4]. Однако значительная часть легких углеводородных газов используется в качестве технологического и бытового топлива или сжигается на факелях, нанося ощущимый вред экологической обстановке. Разработка эффективных каталитических способов производства низших олефинов из дешевых видов углеводородного сырья, таких как сжиженный нефтяной газ, является актуальной задачей. Непрерывно растущая потребность в низших олефинах стимулирует поиск и разработку новых селективных катализаторов или способов улучшения эксплуатационных свойств ранее разработанных систем [5-7]. Катализаторы, содержащие в качестве активного компонента кислородные соединения хрома, имеют большое промышленное значение и находят широкое применение в процессах органического синтеза [8, 9]. В процессе дегидрирования низших алканов в кипящем слое алюмохромового катализатора получаются олефины С₃-С₅ [10-14].

Экспериментальная часть

Катализаторы готовили методом совместной пропитки смеси цеолита и гидрооксида алюминия водными растворами азотнокислой соли хрома и борной кислоты с последующей сушкой, прокаливанием. В приготовленных образцах содержалось 30% HZSM-5 в декатионированной форме с соотношением SiO₂/Al₂O₃ = 35.

Синтезированные катализаторы испытывали в проточной установке при атмосферном давлении и при варьировании технологических параметров (температура реакции, объемная скорость подачи сырья). Загрузка катализатора – 5 см³. В качестве сырья использовали сжиженный нефтяной газ с добавлением паров воды. Состав исходных и образующихся соединений анализировали на хроматографе «Хром-5» с колонкой (3,5x0,003 м), заполненной окисью алюминия.

Результаты и обсуждение

Для усиления дегидрирующих функций катализаторов вводились различные концентрации бора [15-17]. Изучено влияние температуры процесса на степень конверсии С₄ алканов и выход олефинов при переработке СНГ [18-20]. Как видно из таблицы 1, на 5%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ при повышении температуры от 450 до 630°C конверсия С₄ увеличивается с 27,0 до 84,4%. С ростом температуры от 450 до 630°C выход этилена повышается от 4,1 до 28,4%, а выход пропилена - с 8,1 до 28,5%. Максимальный выход изобутилена равен 6,7%. Суммарный выход С₂-С₄ олефинов с ростом температуры резко увеличивается и максимально равен 63,7% при 630°C. В присутствии цеолита, содержащего катализатора незначительно образуются ароматические углеводороды (3,1-5,3%).

Таблица 1 – Переработка СНГ на 5%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ при W_{СНГ} = 400 ч⁻¹

T _{оп} , °C	Состав СНГ	450	500	550	600	630
Конверсия С ₄ , %		27,0	44,5	51,9	61,0	84,4
Выход газообразных продуктов, %						
Метан		2,0	4,7	2,1	3,6	7,8
Этан		2,1	3,7	5,1	7,1	9,5
Этилен		4,1	6,5	13,4	20,2	28,4
Пропан	12,0	15,5	18,0	13,4	6,9	5,3
Пропилен		8,1	12,1	16,8	20,4	28,5
Изобутан	60,0	46,3	35,1	33,6	22,3	10,9
Н-бутан	28,0	17,9	13,7	8,7	12,0	2,8
Изобутилен		3,7	5,4	5,6	6,7	5,7
Бутилен		0,3	0,8	1,3	0,8	1,1
ΣС ₂ -С ₄ олефины		16,2	24,8	37,1	48,1	63,7
S _{олефинам}		60,0	55,7	71,5	80,2	75,5
Выход жидких продуктов, %						
Выход АрУ		–	3,2	3,9	5,3	4,1

На 3%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ конверсия C₄ увеличивается с 29,3 до 88,6% при повышении температуры от 450 до 630°C, что несколько выше значений, полученных на предыдущем катализаторе. С ростом температуры от 450 до 630°C выход этилена и пропилена возрастает, их максимальные выходы равны 31,6 и 29,0% при 630°C соответственно (таблица 2). Суммарный выход C₂-C₄ олефинов с ростом температуры увеличивается и в максимуме равен 64,7% при 630°C. Выход ароматических соединений (АрУ) возрастает в 2 раза, их максимум составляет 10,6% при 630°C.

Таблица 2 – Переработка СНГ на 3%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ при 400 ч⁻¹

T _{оп} , °C	Исх. газ	450	500	550	600	630
Конверсия C ₄ , %		29,3	45,6	62,4	77,5	88,6
Выход газообразных продуктов, %						
Метан		2,2	8,9	3,9	8,0	12,6
Этан		1,0	4,7	7,5	11,9	9,7
Этилен		5,6	6,6	13,7	26,3	31,6
Пропан	12,0	16,5	24,2	16,6	6,1	3,0
Пропилен		8,0	4,7	17,6	23,1	29,0
Изобутан	60,0	40,8	34,8	22,1	15,4	8,7
Н-бутан	28,0	21,4	12,2	11,0	4,4	1,3
Изобутилен		4,2	3,1	7,0	3,5	4,1
Бутилен		0,3	0,8	0,6	1,4	–
ΣC ₂ -C ₄ олефины		18,1	15,2	38,9	54,3	64,7
S _{олефинам}		61,8	33,3	62,3	70,0	73,0
Выход жидких продуктов, %						
Выход АрУ		1,2	4,9	9,7	8,8	10,6

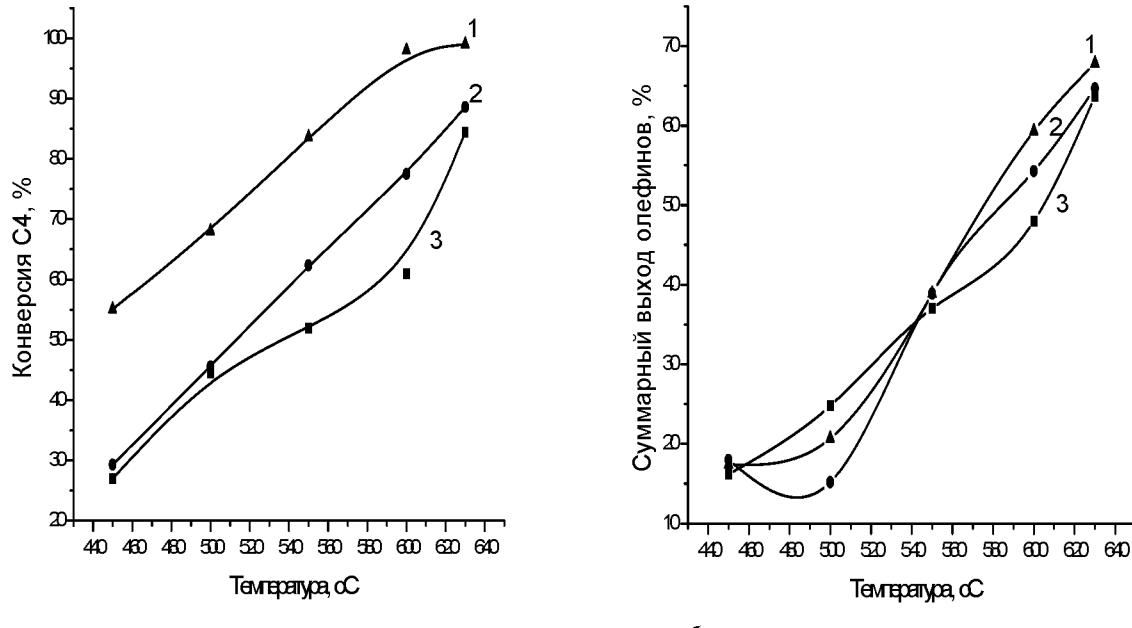


Рисунок 1 – Влияние температуры на конверсию C₄ (а) и на суммарный выход олефинов (б) на B-Cr/ZSM+Al₂O₃ катализаторах: 1 – 1%B, 2 – 3%B, 3 – 5%B

Как видно из рисунка 1а, самую высокую конверсию C₄ показывает 1%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ катализатор. На этом катализаторе при повышении температуры от 450 до 630°C конверсия C₄ увеличивается с 55,1 до 99,0%. С ростом температуры выход этилена увеличивается с 6,4 до 45,5%, а выход пропилена - с 7,9 до 20,8% (таблица 3).

Таблица 3 – Переработка СНГ на 1%В-Cr/ZSM+Al₂O₃ при 400 ч⁻¹

T _{оп} , °C	Исх. газ	450	500	550	600	630
Конверсия C ₄ , %		55,1	68,0	83,6	98,0	99,0
Выход газообразных продуктов, %						
Метан		2,8	5,2	7,8	7,8	7,7
Этан		8,2	11,6	17,8	18,2	19,3
Этилен		6,4	7,0	14,2	36,3	45,5
Пропан	12,0	32,1	34,3	21,1	12,9	4,3
Пропилен		7,9	11,4	20,1	20,7	20,8
Изобутан	60,0	27,5	23,2	11,0	0,9	0,5
Н-бутан	28,0	12,0	5,0	3,4	0,9	0,4
Изобутилен		2,4	1,8	3,4	2,3	1,5
Бутилен		0,7	0,5	1,2	сл	–
ΣC ₂ -C ₄ олефины		17,4	20,7	38,9	59,3	67,8
S _{олефинам}		31,6	30,4	46,5	60,5	68,5
Выход жидкких продуктов, %						
Выход ArY		5,3	12,4	17,7	14,3	9,7

Из рисунка 2а видно, что при T>550°C содержание этилена выше на 1%В-Cr/ZSM+Al₂O₃. При повышении температуры с 450 до 630°C суммарный выход C₂-C₄ олефинов увеличивается с 17,4 до 67,8%. При T>550°C суммарный выход олефинов на 1%В-Cr/ZSM+Al₂O₃ превышает значения, полученные на других катализаторах (рисунок 1б). Максимальный выход ArY равен 17,7% (550°C), что значительно превышает выходы жидких продуктов на катализаторах, содержащих 3 и 5% бора (рисунок 3).

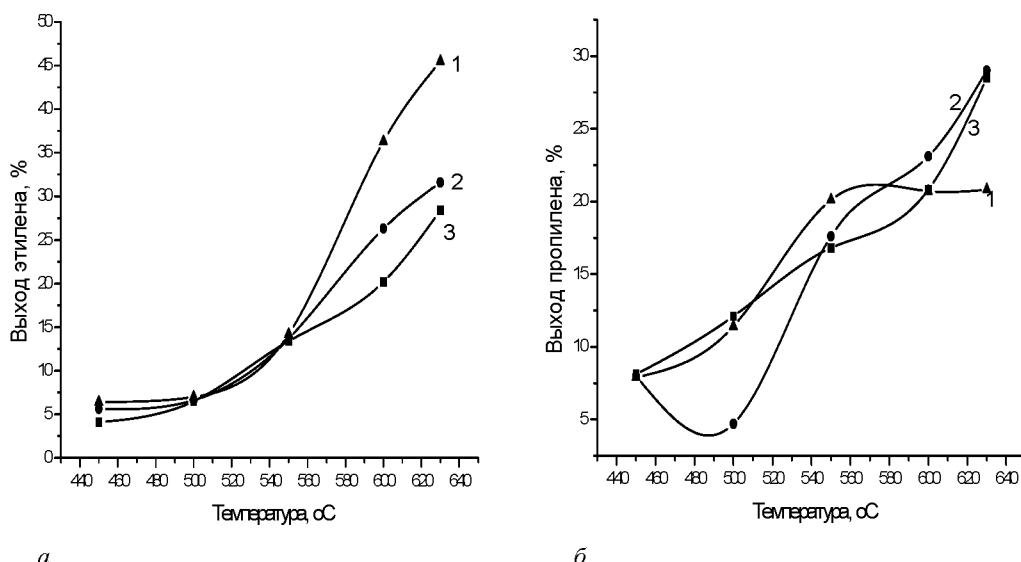


Рисунок 2 – Влияние температуры на выход этилена (а) и пропилена (б) на B-Cr/ZSM+Al₂O₃ катализаторах:
1 – 1%В, 2 – 3%В, 3 – 5%В

Изучено влияние скорости подачи сырья на выход олефинов. Установлено, что при увеличении объемной скорости подачи СНГ от 250 до 600 ч⁻¹ снижается конверсия C₄ и выход этилена, но увеличиваются выходы пропилена и ароматических углеводородов. Максимальный выход C₂-C₄-олефинов имеет место при 400 ч⁻¹ (рисунок 4).

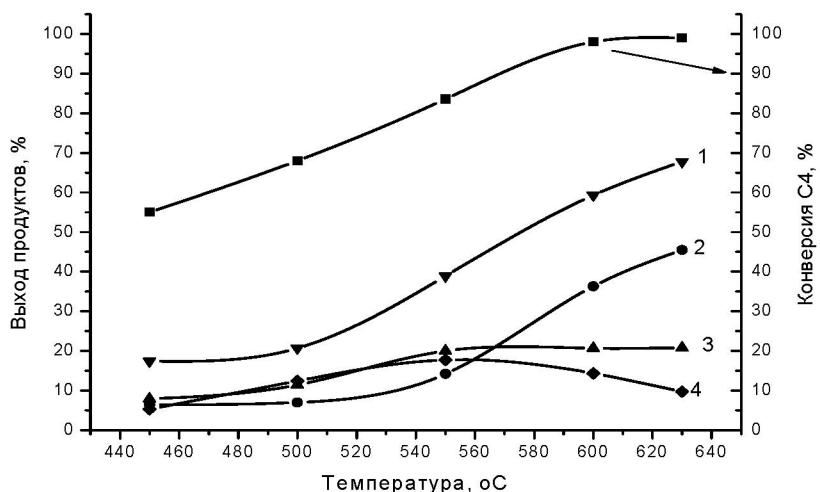


Рисунок 3 – Влияние температуры на выход олефинов и АРУ на 1%B-Cr/ZSM+Al₂O₃:
1 – сумма олефинов, 2 - этилен, 3 – пропилен, 4 – АРУ

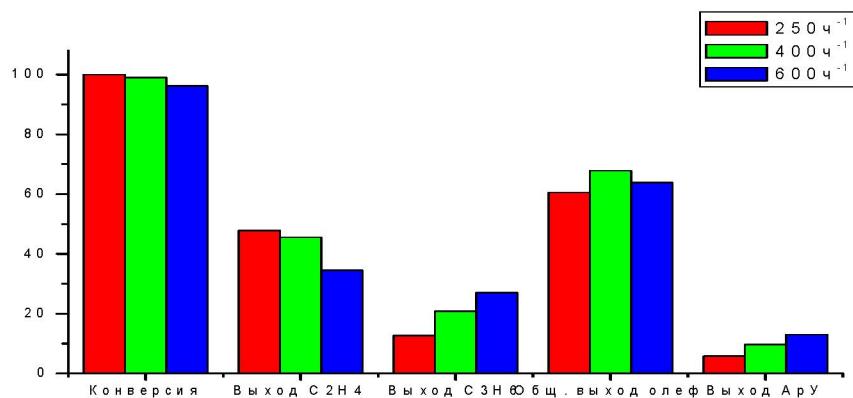


Рисунок 4 – Влияние объемной скорости подачи сырья
на процесс переработки СНГ на 1%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ при 630°C

Исследовано влияние количества модификатора на адсорбционные характеристики катализаторов по отношению к аммиаку (таблица 4). Аммиак на поверхности 1%B-5%Cr/ZSM+Al₂O₃ катализатора неоднороден и адсорбируется в двух формах, о чем свидетельствует наличие двух максимумов на ТПД-кривой. Слабоадсорбированная форма десорбируется с $T_{\text{макс}} = 240^{\circ}\text{C}$, болееочноадсорбированная – с $T_{\text{дес}} = 470^{\circ}\text{C}$. Их количество равно 27,2 и $8,2 \cdot 10^{-4}$ моль/г кат-ра соответственно, суммарное количество – $35,4 \cdot 10^{-4}$ моль/г кат-ра.

С увеличением содержания бора до 3% в катализаторе изменяются энергетические характеристики активных центров, появляется пик прочносвязанной формы аммиака с $T_{\text{дес}} = 650^{\circ}\text{C}$. Температуры максимумов пиков и их количества увеличиваются.

Таблица 4 – Температурно-программированная десорбция аммиака с поверхности катализаторов

Катализатор	$T_{\text{макс}}$, °C			Кол-во десорбированного аммиака, $\cdot 10^{-4}$ моль/г кат-ра			$\Sigma \text{NH}_3 \cdot 10^{-4}$ моль/г катализатора
	1	2	3	1	2	3	
1%B-5%Cr/ZSM+Al ₂ O ₃	240	470	–	27,2	8,2	–	35,4
3%B-5%Cr/ZSM+Al ₂ O ₃	265	480	650 сл	30,3	9,0	сл	39,3
5%B-5%Cr/ZSM+Al ₂ O ₃	225	490	650	26,7	7,8	7,3	41,8

На 5%B-5%Cr/ZSM+Al₂O₃ присутствуют 3 формы аммиака. Количество слабо- и среднеадсорбированного аммиака снижаются до 26,7 и 7,8·10⁻⁴ моль/г кат-ра, а количество прочно-адсорбированного аммиака увеличивается до 7,3·10⁻⁴ моль/г кат-ра, общее количество равно 41,8·10⁻⁴ моль/г кат-ра.

Текстурные характеристики катализаторов рассчитывали из изотерм адсорбции и десорбции азота по методу БЭТ на установке «Accu Sorb». Удельная поверхность 1%B-5%Cr/ZSM+Al₂O₃ катализатора равна 301,9 м²/г, объем пор – 0,339 см³/г. С ростом содержания бора в катализаторе до 3 и 5% значения удельной поверхности снижаются до 291,3 и 260,5 м²/г соответственно. Самый высокий объем пор обнаружен на 3%B-5%Cr/ZSM+Al₂O₃ (0,357 см³/г) и низкий – на 5%B-5%Cr/ZSM+Al₂O₃ (0,254 см³/г). При исследовании распределения пор по размерам установлено, что в катализаторе, содержащем 1%B, преобладают поры с D ~ 1,5 нм. В 3 и 5%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ преобладают поры с D ≥ 2,5 нм.

Сравнивая полученные данные, можно сказать, что с увеличением содержания бора в катализаторе и уменьшением их удельной поверхности снижаются конверсия C₄ и суммарный выход олефинов. На 1%B-5%Cr/ZSM+Al₂O₃ катализаторе с большей удельной поверхностью (301,9 м²/г) и объемом пор (0,339 см³/г) получены максимальные выходы олефинов. При 630°C и W=400ч⁻¹ образуется до 67,8 % C₂-C₄-олефинов при конверсии 99%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Арутюнов В.С., Лапидус А.Л. Введение в газохимию. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина. 2005. – 108с.
- [2] Брагинский О.Б. Мировая нефтехимическая промышленность. – М.: Наука. 2003. – 150с.
- [3] Дедов А.Г., Моисеев И.И., Локтев А.С. Каталитический синтез базовых нефтехимических продуктов на основе алканов C₁-C₄ // Химия и технология топлив и масел – 2005. - № 2. - С. 35-40.
- [4] Булкатов А.Н. Применение процессов дегидрирования для переработки углеводородного сырья в продукты нефтехимии // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2008. - № 10. – С. 30-36.
- [5] Макарян И.А., Диценко Л.П., Савченко В.И. Мембранные-катализитические системы и реакторы для дегидрирования легких углеводородов // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2009. - №9. - С. 15-19.
- [6] Пахомов Н.А. Проблемы обратимой и необратимой дезактивации нанесенных биметаллических катализаторов дегидрирования низших парафинов // Кинетика и катализ. - 2001. – Т.42, №3. – С.372-382.
- [7] Гайдай Н.А., Киперман С.Л. Кинетические модели дезактивации катализаторов в реакциях дегидрирования парафинов // Кинетика и катализ. - 2001. – Т.42, №4. – С.581-587.
- [8] Алхасов Т.Г., Лисовский А.Е. Окислительное дегидрирование углеводородов. - М. Химия, 1980. - 238 с.
- [9] Исагулянц Г.В., Беломестных И.П., Форбек Г. Окислительное дегидрирование алканов в олефины // Российский химический журнал. - 2000. - № 2. - С. 69-80.
- [10] Бабенко В.С., Пахомов Н.А., Буйнов Р.А. Изучение термостабильности алюмохромовых катализаторов для процесса одностадийного дегидрирования н-бутана // Катализ в промышленности. - 2009. - № 1. - С. 13-17.
- [11] Макарян И.А., Савченко В.И. Катализическое дегидрирование как путь переработки углеводородного сырья // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2009. - № 7. - С. 20-25.
- [12] Макарян И.А., Савченко В.И. Катализическое дегидрирование как путь переработки легкого углеводородного сырья // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2009. - №7. - С. 20-25.
- [13] Duan Y., Y. Zhou Y., Zhang Y. Effect of sodium addition to PtSn/AlSBA-15 on catalytic properties in propane dehydrogenation // Catalysis Letters. - 2011. - V. 141, P. 120-127.
- [14] Егорова С.Р., Бекмухamedов Г.Э., Ламберов А.А. Влияние высокотемпературной обработки на свойства алюмо-хромового катализатора дегидрирования низших парафинов // Кинетика и катализ. – 2013. – Т. 54, № 1. – С.51-60.
- [15] Китаев Л.Е., Букинс З.М., Ющенко В.В. Изменение кислотных и каталитических свойств ультрастабильного цеолита Y в результате модификации водными растворами фосфорной и борной кислот // Нефтехимия. - 2004. – Т. 44, № 4. – С. 179-187.
- [16] Букина З.М., Сливинский Е.В., Китаев Л.Е. Изменение структуры и адсорбционных свойств ультрастабильного цеолита Y в результате модификации водными растворами борной и фосфорной кислот // Нефтехимия. - 2002. – Т. 42, № 4. – С. 250-257.
- [17] Абрамова А.В., Сливинский Е.В., Китаев Л.Е. Направленное модифицирование кислотных характеристик ультрастабильного цеолита Y: обработка цеолита соединением бора и фосфора // Нефтехимия. - 2000. – Т. 40, № 3. – С. 181-189.
- [18] Zakumbaeva G.D., Kubasheva A.Zh., Komashko L.V. Conversion of an ethylene-pentane mixture over a molybdenum- and boron-promoted zeolite catalyst // Petroleum Chemistry. – 2012. – V. 52, №6. – P. 410-415.
- [19] Кубашева А.Ж., Туктин Б. Исследование взаимодействия пентана и этилена на цеолитах содержащих катализаторах // Вестник Казахстанско-Британского Технического Университета. – 2012. - № 1. – С. 51-57.
- [20] Кубашева А.Ж., Туктин Б., Комашко Л.В. Исследование каталитических свойств нанесенных хром-молибденовых катализаторов в процессе превращения низших алканов // Известия НАН РК. Серия химии и технологии. – 2014. - № 6. – С. 7-12.

REFERENCES

- [1] Arutjunov V.S., Lapidus A.L. Introduction to gas chemistry. M.: RTU nefti i gaza im. I.M.Gubkina, **2005**, 108p (in Russ.).
- [2] Braginskij O.B. World petrochemical industry. M.: Nauka, **2003**, 150p (in Russ.).
- [3] Dedov A.G., Moiseev I.I., Loktev A.S. *Himija i tehnologija topliv i mase*, **2005**, 2, 35-40 (in Russ.).
- [4] Bulkatov A.N. *Neftepererabotka i neftehimija*, **2008**, 10, 30-36 (in Russ.).
- [5] Makarjan I.A., Didenko L.P., Savchenko V.I. *Neftepererabotka i neftehimija*, **2009**, 9, 15-19 (in Russ.).
- [6] Pahomov N.A. *Kinetika i kataliz*, **2001**, 42, 3, 372-382 (in Russ.).
- [7] Gajdaj N.A., Kiperman S.L. *Kinetika i kataliz*, **2001**, 42, 4, 581-587 (in Russ.).
- [8] Alhasov T.G., Lisovskij A.E. Oxidative dehydrogenation of hydrocarbons. M.: *Himija*, **1980**, 238p (in Russ.).
- [9] Isaguljanc G.V., Belomestnyh I.P., Forbek G. *Rossijskij himicheskij zhurnal*, **2000**, 2, 69-80 (in Russ.).
- [10] Babenko V.S., Pahomov N.A., Bujanov R.A. *Kataliz v promyshlennosti*, **2009**, 1, 13-17 (in Russ.).
- [11] Makarjan I.A., Savchenko V.I. *Neftepererabotka i neftehimija*, **2009**, 7, 20-25 (in Russ.).
- [12] Makarjan I.A., Savchenko V.I. *Neftepererabotka i neftehimij*, **2009**, 7, 20-25 (in Russ.).
- [13] Duan Y., Y. Zhou Y., Zhang Y. *Catalysis Letters*, **2011**, 141, 120-127 (in Eng.).
- [14] Egorova S.R., Bekmuhamedov G.Je., Lambergov A.A. *Kinetika i kataliz*, **2013**, 54, 1, 51-60 (in Russ.).
- [15] Kitaev L.E., Bukins Z.M., Jushhenko V.V. *Neftehimija*, **2004**, 44, 4, 179-187 (in Russ.).
- [16] Bukina Z.M., Slivinskij E.V., Kitaev L.E. *Neftehimija*, **2002**, 42, 4, 250-257 (in Russ.).
- [17] Abramova A.V., Slivinskij E.V., Kitaev L.E. *Neftehimija*, **2000**, 40, 3, 181-189 (in Russ.).
- [18] Zakumbaeva G.D., Kubasheva A.Zh., Komashko L.V. *Petroleum Chemistry*, **2012**, 52, 6, 410-415 (in Eng.).
- [19] Kubasheva A.Zh., Tuktin B. *Vestnik Kazahstansko-Britanskogo Tehnicheskogo Universiteta*, **2012**, 1, 51-57 (in Russ.).
- [20] Kubasheva A.Zh., Tuktin B., Komashko L.V. *Izvestija NAN RK. Serija himii i tehnologii*, **2014**, 6, 7-12 (in Russ.).

**СҮЙЫТЫЛҒАН МҰНАЙ ГАЗЫН ӨҢДЕУ ПРОЦЕСІНДЕ
ХРОММЕН ЖӘНЕ БРОММЕН МОДИФИЦИРЛЕНГЕН КАТАЛИЗАТОРЛАР**

А. Ж. Кубашева, Б. Туктін

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

Тірек сөздер: катализатор, конверсия, дегидрлеу, алкандар, олефиндер.

Аннотация. Сүйытылған мұнай газын төмен олефиндерге өңдеу процесінде бормен модифицирленген және хром және цеолитқұрамды катализаторлардың каталитикалық және физика-химиялық қасиеттері зерттелді. Олефиндердің шығымы мен СМГ-ның конверсиясына бордың концентрациясының әсері зерттелді. 600-630⁰С-та 1%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ катализаторында C₄ алкандардың конверсиясы ең жоғары болып 98-99% құрады. Жалпы олефиндердің шығымы мен C₄ конверсиясының төмендеуі катализатордың меншікті беттік ауданының кішіреюімен бор концентрациясының есүіне байланысты екені аныкталды. 1%B-Cr/ZSM+Al₂O₃ катализаторында максималды олефиндердің шығымы меншікті беттік ауданы (301 м²/г) және санылаулар көлемі 0,339 см³/г алынды. СМГ-ның көлемдік берілу жылдамдығын 250-ден 600 сағ⁻¹ жоғарылағанда этиленнің шығымы мен C₄ конверсиясы төмендейді, бырақ пропилен мен ароматтық көмірсүтектің шығымы өседі. 630⁰С температурасы мен СМГ оптимальды көлемдік берілу жылдамдығы 400 сағ⁻¹-де 67,8% C₂-C₄ олефиндер түзіледі. Катализаторлардың қышқылдық оргалықтары ТПД аммиак әдісімен зерттелді.

Поступила 29.07.2015г.