

4. *Kennepohl D., Sanford E.* // *Energy & Fuels*. 1996. V. 10. P. 229–234.
5. *Dong Liu, Xue Kong, Meiyu Li, Guohe Que* // *Energy & Fuels*. 2009. V. 23. P. 958–961.
6. Pat 7513989 (US). Hydrocracking process using bulk group VIII/Group VIB catalysts. 2009.
7. Алиев Р.Р. Катализаторы и процессы переработки нефти. М., 2010. С. 389.
8. *Matsumura A., Sato S., Kondo T.* et al. // *Fuel*. 2005. V. 84. P. 417–421.
9. Молчанов В.В., Буянов Р.А. // *Успехи химии*. 2000. № 5. С. 476.
10. Григорьева Т.Ф., Баринова А.П., Ляхов Н.З. Механохимический синтез в металлических системах. Новосибирск: Параллель, 2008. С. 311.
11. Аввакумов Е.Г. // *Химия в интересах устойчивого развития*. 1994. № 2. С. 541.
12. *Brito J.L., Barbosa A.L.* // *J. Catalysis*. 1997. V. 171. P. 329.
13. Плясова Л.М., Иванченко И.Ю., Андрушкевич М.М., Буянов Р.А., Итенберг И.Ш., Хромова Г.А. и др. // *Кинетика и катализ*. 1973. № 4. С. 1010.
14. *Ozkan U., Schrader G.L.* // *J. Catalysis*. 1985. V. 95. P. 120.
15. *Levin D., Soled S.L., Ying J.Y.* // *Inorg Chem*. 1996. V. 35. P. 4191.
16. *Brito J.L., Barbosa A.L., Albornoz A.* et al. // *Letters*. 1994. V. 26. P. 329.
17. *Laine J., Pratt K.C.* // *React. Kinet. Catal. Lett*. 1979. V. 10. P. 207.
18. Дуплякин В.К., Бакланова О.Н., Чиркова О.А., Антоничева Н.В., Арбузов А.Б., Войтенко Н.Н., Дроздов В.А., Лихолобов В.А. // *Кинетика и катализ*. 2010. Т. 51. № 1. С. 136.
19. *Madeira L.M., Portela M.F., Mazzocchi C.* // *Catal. Rev*. 2004. V. 45. № 1. P. 53.
20. Авакумов Е.Г. Механохимические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1986.
21. *Brito J.L., Laine J., Pratt K.C.* // *J. Mater. Sci*. 1989. V. 24. P. 425.
22. *Turov M.A., Afanasiev P.V., Lunin V.V.* // *Appl. Catal. A: Gen*. 1993. V. 105. P. 205–221.
23. *Curtis C.W., Chen J.H., Tang Y.* // *Energy&Fuels*. 1995. V. 9. № 2. P. 195–203.

УДК 665.656 : 542.973

ГИДРОИЗОМЕРИЗАЦИЯ БЕНЗОЛА НА КАТАЛИЗАТОРАХ Pt/MOR/Al₂O₃

© 2012 г. Е.А. Белопухов¹,
А.С. Белый^{1,2}, М.Д. Смоликов^{1,2},
Д.И. Кирьянов¹, Т.И. Гуляева¹

¹ Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Омск

² Омский государственный технический университет, Омск

Введение

Современный уровень требований к качеству автомобильных бензинов определяется не только необходимостью достижения их основных эксплу-

атационных характеристик (октановое число, нагарообразующие свойства и др.), но и экологической безопасностью работы автомобилей. Современные экологические требования к автомобильным бензинам жестко ограничивают содержание ароматических углеводородов, в частности бензола, в товарном бензине [1].

Одним из перспективных процессов, позволяющих превращать бензол в экологически более чистый метилциклопентан [2], является процесс гидроизомеризации бензолсодержащих бензиновых фракций. В данном процессе, наряду с превращением бензола, увеличивается глубина изомеризации

Белопухов Е.А. – аспирант Института проблем переработки углеводородов СО РАН (ИППУ СО РАН). Тел.: (3812) 67-33-34.
E-mail: eugebel@ihcp.oscsbras.ru

Белый А.С. – д-р хим. наук, зав. лабораторией того же института. Тел. тот же. E-mail: belyi@ihcp.oscsbras.ru

Смоликов М.Д. – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник того же института. Тел. тот же. E-mail: smolikov@ihcp.oscsbras.ru

Кирьянов Д.И. – технолог того же института. Тел. тот же

Гуляева Т.И. – мл. науч. сотрудник того же института. Тел.: (3812) 67-22-16

парафиновой части, что позволяет не только сохранить, но и улучшить октановые характеристики продукта [2, 3].

Реакция гидроизомеризации бензола включает стадию его гидрирования до циклогексана (ЦГ) и изомеризацию последнего до метилциклопентана (МЦП), обладающего более высоким октановым числом. На рис. 1 приведены данные по составу равновесной смеси бензола, циклогексана и метилциклопентана [4], из которых следует, что для образования МЦП оптимальным является температурный интервал 250—320 °С, для которого максимальный равновесный выход МЦП составляет 80—82 %, а отношение МЦП/ЦГ, характеризующее степень приближения к равновесию, находится в интервале 4,0—4,6.

В качестве катализаторов гидроизомеризации бензола и его смесей с алканами и циклоалканами активно исследуют платиносодержащие бифункциональные катализаторы. Платину наносят на пористые носители, представляющие собой твердые кислоты: цеолиты [5, 6], сульфатированный [7, 8] и вольфраматсодержащий диоксиды циркония [9]. Недостатком катализаторов на сульфатированных и вольфраматсодержащих носителях является протекание побочных реакций раскрытия цикла и гидрокрекинга алканов, уменьшающих выход МЦП и других жидких продуктов из-за несбалансированности кислотной и гидрирующей функций катализатора [7—9].

Для приготовления катализаторов на основе цеолита в лабораторных условиях в качестве предшественника платины, как правило, применяют аммиачный комплекс $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$, обеспечива-

ющий высокую скорость и прочность закрепления платины, высокую степень ее сорбции на цеолите. В то же время для производства промышленных партий катализатора в качестве исходного соединения платины преимущественно используют платинохлористоводородную кислоту H_2PtCl_6 .

Целью данной работы является оптимизация кислотных свойств носителя катализатора путем добавления к цеолиту связующего компонента — оксида алюминия и определение влияния предшественника платины в виде $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ и H_2PtCl_6 на каталитические показатели реакции гидроизомеризации бензола.

Экспериментальная часть

Для приготовления катализаторов в качестве носителя использовали морденит (MOR) производства компании «Zeolyst International» с кислотным модулем $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 20$. Цеолит переводили в Н-форму, прокаливая при температуре 450 °С, после чего наносили платину из раствора аммиаката платины $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$. Перед нанесением платины носитель пропитывали по влагоемкости 1 н раствором аммиака с $\text{pH} = 10 \div 11$, взятым из расчета 2 % NH_3 от массы цеолита. Адсорбцию аммиаката платины цеолитом проводили из раствора при комнатной температуре.

Кислотность катализаторов регулировали путем разбавления цеолита оксидом алюминия, добавляя к цеолиту связующий компонент — псевдобемит, предоставленный компанией «Sasol Germany GmbH». Далее смесевой носитель прокачивали при 500 °С в атмосфере воздуха. Содержание морденита в смесевом носителе варьировали от 5 до 70 мас.%. Носители обозначены как AMOR-5—70, где А — оксид алюминия, MOR — морденит, а числовой индекс — массовое содержание цеолита (MOR) в носителе.

Для приготовления катализаторов $\text{Pt}_\text{A}/\text{MOR}$ и $\text{Pt}_\text{A}/\text{AMOR-30}$ платину наносили пропиткой из раствора аммиаката платины $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ (нижний индекс «А» — Pt_A). Для приготовления катализаторов $\text{Pt}_\text{K}/\text{AMOR-5-70}$ и $\text{Pt}_\text{K}/\text{Al}_2\text{O}_3$ платину наносили пропиткой носителя из раствора кислоты H_2PtCl_6 (нижний индекс «К» — Pt_K). Содержание платины в готовых катализаторах составляло 0,3 мас.%. Номенклатура и состав исследованных катализаторов приведены в табл. 1. Все катализаторы после нанесения платины были высушены на воздухе при температуре 120 °С, а катализаторы, приготовленные с использованием аммиаката платины, после сушки

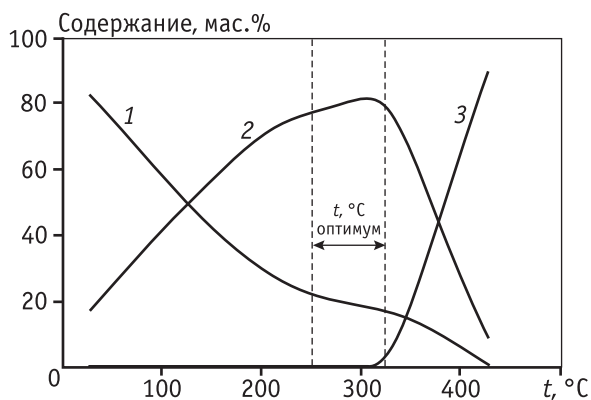


Рис. 1. Содержание циклогексана (1), метилциклопентана (2) и бензола (3) в равновесной смеси

$P_{\text{H}_2} = 1,2 \text{ МПа}$, $P_{\text{Б}} = 0,15 \text{ МПа}$

дополнительно 3 ч прокаливали в токе осушенного воздуха при 450 °С.

Каталитические исследования проводили на проточной установке с изотермическим реактором со стационарным слоем катализатора и расположенным вдоль оси реактора термпарным карманом. Загружаемый в реактор объем катализатора — 2 см³ (фракция 0,25–0,75 мм). После загрузки в реактор катализатор восстанавливали в токе очищенного водорода при постепенном (в течение 1 ч) подъеме температуры до 350 °С и выдержкой при этой температуре в течение 1 ч. Каталитическую активность образцов в реакции гидроизомеризации измеряли на 2 типах сырья: циклогексане и смеси бензол/*n*-гептан в массовом соотношении 20/80, которое соответствует типовому составу бензолсодержащей фракции риформата н.к. — 85 °С. Условия испытаний: температура $t = 250\text{--}350$ °С, давление $P = 1,5$ МПа, $H_2/CH = 3/1$, объемная скорость подачи циклогексана — 6 ч⁻¹, смесового сырья — 2 ч⁻¹. Анализ продуктов осуществляли в режиме *on-line*, направляя парогазовую смесь на хроматограф Цвет-800 с капиллярной колонкой PONA/PIONA компании «J&W Scientific». Мерой активности и селективности катализаторов служили конверсия сырья и выходы целевых продуктов.

Кислотные свойства катализаторов исследовали методом термопрограммируемой десорбции аммиака, которую проводили на хемосорбционном анализаторе AutoChem II 2920 Micromeritics с детектором

Таблица 1

Номенклатура и состав катализаторов

Образец	Массовое содержание элементов Pt, %	Состав носителя, %	Предшественник Pt
MOR	—	H-Морденит — 100	—
Pt _A /MOR	0,3	H-Морденит — 100	[Pt(NH ₃) ₄]Cl ₂
Pt _A /AMOR-30	То же	Al ₂ O ₃ — 70 H-Морденит — 30	
Pt _K /AMOR-70	»	Al ₂ O ₃ — 30 H-Морденит — 70	H ₂ PtCl ₆
Pt _K /AMOR-30	»	Al ₂ O ₃ — 70 H-Морденит — 30	
Pt _K /AMOR-10	»	Al ₂ O ₃ — 90 H-Морденит — 10	
Pt _K /AMOR-5	»	Al ₂ O ₃ — 95 H-Морденит — 5	
Pt _K /Al ₂ O ₃	»	Al ₂ O ₃ — 100	

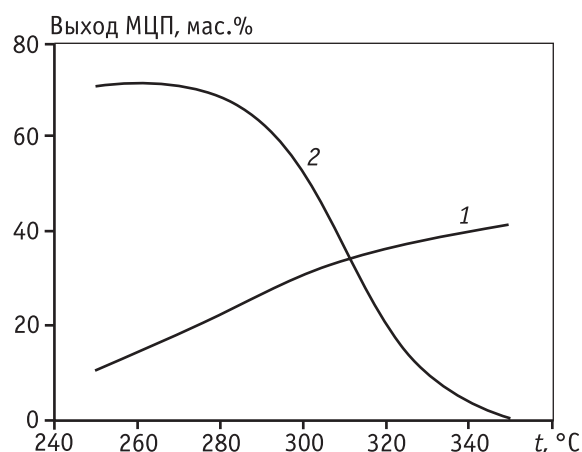


Рис. 2. Температурная зависимость выхода метилциклопентана на катализаторах MOR (1) и Pt_A/MOR (2) при изомеризации циклогексана

$P = 1,5$ МПа, ОСПС = 6 ч⁻¹, $H_2/CH = 3$ моль/моль, объем катализатора — 2 см³, фракция 0,25–0,75 мм

по теплопроводности. Перед измерением все образцы 2 ч прокаливали при 500 °С.

Обсуждение результатов

Изомеризация циклогексана на катализаторах MOR и Pt/MOR

Для оценки изомеризирующей активности исходного цеолита и цеолита после нанесения 0,3 мас.% Pt катализаторы MOR и Pt/MOR исследовали в реакции превращения циклогексана. Показатели превращения циклогексана приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Из представленных данных следует, что при сохранении селективности изомеризации на уровне 96–97 % введение платины значительно увеличивает активность катализатора — при температуре 250 °С конверсия циклогексана возрастает с 11 до 74 %. При данной температуре на катализаторе Pt/MOR получен максимальный выход МЦП, составляющий 71 % (при равновесном 75–76 %). На катализаторе MOR, не содержащем платину, выход МЦП, достигнутый при 350 °С, составляет 42 % при селективности изомеризации 81 %.

В случае катализатора Pt/MOR

Таблица 2

Показатели реакции изомеризация циклогексана

Катализатор	$t, ^\circ\text{C}$	Конверсия, X, ЦГ	Селективность изомеризации, $S_{\text{ИЗОМ}}$ ЦГ в МЦП	Выход стабильного катализата (углеводороды C_{5+})	Выход МЦП	Выход ЦГ	МЦП/ЦГ
		мас. %					
MOR	250	11	97	99,9	10,6	89,1	0,1
	280	24	92	99,0	22,5	75,6	0,3
	300	35	89	98,1	30,9	65,3	0,5
	320	43	86	97,1	36,5	57,4	0,6
	350	52	80	95,2	41,8	48,0	0,9
Pt_A/MOR	250	74	96	99,4	71,6	25,8	2,8
	280	81	85	95,8	69,1	18,5	3,7
	300	88	61	85,5	53,0	12,5	4,2
	320	96	22	60,1	20,9	4,4	4,7
	350	100	0,3	16,9	0,3	0,1	3,1
$\text{Pt}_A/\text{AMOR-30}$	250	29	99	99,9	28,2	71,4	0,4
	280	72	96	99,2	69,0	28,4	2,4
	300	81	89	96,4	72,4	18,6	3,9
	320	86	73	89,9	62,6	14,0	4,5
	350	95	26	63,2	24,9	5,2	4,8
$\text{Pt}_K/\text{AMOR-30}$	250	6	97	100	5,8	94,0	0,1
	280	40	98	99,8	39,0	60,4	0,6
	300	74	96	99,1	71,1	26,3	2,7
	320	84	89	97,0	74,4	16,3	4,6
	350	89	65	88,9	57,8	11,1	5,2
Примечание. Условия: $P = 1,5$ МПа, ОСПС = 6 ч^{-1} , $\text{H}_2/\text{CH} = 3$ моль/моль, объем катализатора – 2 см^3 , фракция 0,25–0,75 мм.							

Примечание. Условия: $P = 1,5$ МПа, ОСПС = 6 ч^{-1} , $\text{H}_2/\text{CH} = 3$ моль/моль, объем катализатора – 2 см^3 , фракция 0,25–0,75 мм.

повышение температуры резко снижает выход МЦП: при 350°C и близкой к 100 % конверсии его величина ниже 1 %. Снижение селективности реакции изомеризации циклогексана до МЦП в данном случае объясняется увеличением скорости побочных реакций раскрытия кольца, что в свою очередь связано с высоким уровнем кислотности чистого цеолита. В то же время из рис. 1 видно, что максимальный равновесный выход МЦП составляет 80–82 % и достигается при температурах $290\text{--}310^\circ\text{C}$.

Для повышения выхода МЦП предпринята попытка оптимизировать кислотные свойства, вводя в состав носителя оксид алюминия.

Термопрограммируемая десорбция NH_3

Оксид алюминия в катализаторной промышленности часто используется как материал, который обеспечивает хорошие связующие свойства, прида-

вая гранулам катализатора необходимую прочность, а также позволяет в известной мере регулировать кислотные свойства катализатора в целом. Немаловажен и тот факт, что стоимость оксида алюминия существенно ниже стоимости цеолитов.

Для оценки кислотных свойств носителя при введении оксида алюминия в состав катализатора Pt/MOR использован метод термопрограммируемой десорбции аммиака. Были исследованы носители MOR, AMOR-70, AMOR-30, Al_2O_3 , а также носитель AMOR-50, приготовленный для более подробного исследования кислотных свойств при снижении содержания морденита. Результаты исследования показаны на рис. 3 и в табл. 3.

На кривых ТПД (см. рис. 3) наблюдаются 2 температурные области десорбции аммиака. Первая область, которую относят к слабым кислотным центрам, лежит в интервале $100\text{--}250^\circ\text{C}$, вторая —

Таблица 3

Температурные области десорбции аммиака и количество суммарных кислотных центров носителей с разным содержанием оксида алюминия

Образец	Температурные максимумы, °C	Суммарное количество аммиака, мкмоль/г
MOR	198, более 500	1512
AMOR-70	190, более 500	1316
AMOR-50	То же	955
AMOR-30	187, более 500	743
Al ₂ O ₃	209	584

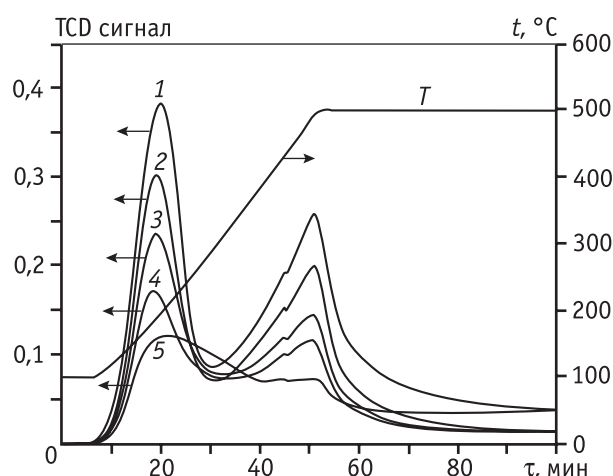


Рис. 3. Термопрограммируемая десорбция аммиака с носителей с разным содержанием оксида алюминия MOR (1), AMOR-70 (2), AMOR-50 (3), AMOR-30 (4), Al₂O₃ (5)

в интервале температур выше 480 °C и характеризует сильные кислотные центры [10]. Из кривых ТПД видно, что при разбавлении цеолита оксидом алюминия положение максимума для низкотемпературной области остается прежним, изменение претерпевает лишь количество сильных и слабых кислотных центров. Изменение их количества с изменением содержания оксида алюминия носит аддитивный характер.

Влияние предшественника платины на показатели изомеризации циклогексана

В табл. 2 и на рис. 4 приведены результаты исследования реакции изомеризации циклогексана на катализаторах, приготовленных на смешанном носителе AMOR-30 (30 мас.% морденита и 70 мас.% Al₂O₃) с нанесением платины из растворов аммиаката пла-

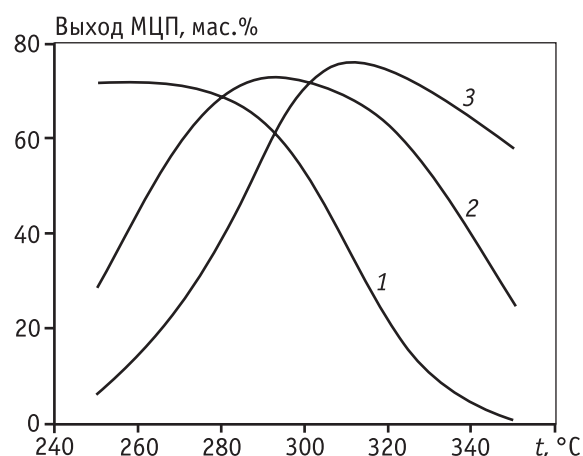


Рис. 4. Температурная зависимость выхода метилциклопентана на катализаторах Pt_A/MOR (1), Pt_A/AMOR-30 (2) и Pt_K/AMOR-30 (3) при изомеризации циклогексана $P = 1,5$ МПа, ОСПС = 6 ч^{-1} , $\text{H}_2/\text{CH} = 3$ моль/моль, объем катализатора – 2 см^3 , фракция 0,25–0,75 мм

тины и платинохлористоводородной кислоты. Для сравнения приведены результаты, полученные на катализаторе Pt/MOR, без добавок оксида алюминия.

Для обоих катализаторов на смешанном носителе кривые выхода метилциклопентана смещаются в область более высоких температур по сравнению с катализатором на чистом цеолите, причем для катализатора, приготовленного с использованием H_2PtCl_6 , это смещение примерно на 20 °C больше, чем для катализатора, приготовленного из $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$.

На катализаторе Pt_A/AMOR-30 наибольший выход МЦП — 72 мас. % получен при 300 °C, при этом массовое соотношение МЦП/ЦГ равно 3,9. Для катализатора Pt_K/AMOR-30 наибольший выход МЦП — 74 % при 320 °C, отношение МЦП/ЦГ в этом случае равно 4,6. Таким образом, самый высокий выход МЦП достигается на катализаторе Pt_K/AMOR-30, приготовленном с использованием кислоты.

Введение оксида алюминия в количестве 70 мас.% снижает активность катализатора, но селективность целевой реакции изомеризации при этом возрастает. Наблюдаемое небольшое увеличение выхода МЦП связано с переходом реакции изомеризации циклогексана в метилциклопентан в более высокотемпературную область, благоприятную с термодинамической точки зрения. Так, равновесное массовое соотношение МЦП/ЦГ при 250 °C составляет 3,7, а при 300 °C — 4,6 [4]. Наибольший эффект при смещении реакции в область высоких температур и приближении к равновесным величинам отме-

чается в случае катализаторов, приготовленных с использованием кислоты H_2PtCl_6 . Таким образом, модифицируя кислотные свойства носителя, можно влиять на эффективность катализатора.

Гидроизомеризация бензола

Для катализатора реакции гидроизомеризации бензола проведена оптимизация состава цеолитного носителя путем введения оксида алюминия в количестве от 30 до 95 мас.%. Изменение кислотных свойств смесового носителя оценивали по результатам реакции изомеризации *n*-гептана, поэтому опыты выполнены на смеси бензол/*n*-гептан с массовым соотношением 20/80. Результаты совместного превращения модельной смеси приведены в табл. 4 и на рис. 5, 6. Как видно, выходы МЦП и изомеров гептана проходят через максимальные значения в диапазоне температур 290–310 °С, затем снижаются. Снижение выхода целевых продуктов при более высоких температурах связано с побочными реакциями раскрытия кольца и гидрокрекинга гептанов, в результате которых образуется значительное количество алканов C_5 – C_6 и углеводородных газов C_1 – C_4 .

При снижении в катализаторе доли цеолита от 70 до 30 % кривая его активности сдвигается на 20 °С в сторону более высоких температур. Тем не менее, максимальный выход целевых продуктов сохраняется на одном уровне, поскольку реакция протекает в термодинамически благоприятном интервале температур.

Из данных табл. 4 видно, что для катализаторов с содержанием цеолита 30 и 70 % при температурах

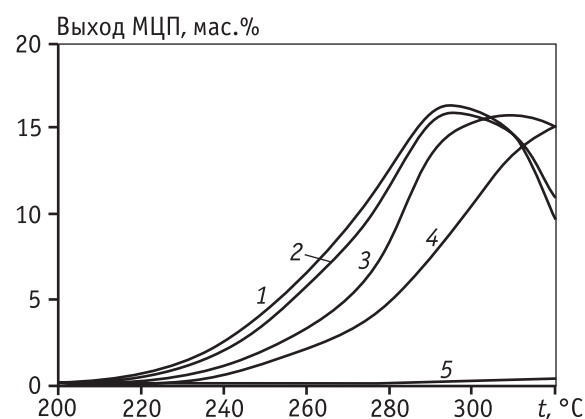


Рис. 5. Температурная зависимость выхода метилциклопентана на катализаторах $Pt_K/AMOR$ при гидроизомеризации смеси бензол/*n*-гептан в массовом соотношении 20/80

1 – $Pt_K/AMOR-70$, 2 – $Pt_K/AMOR-30$, 3 – $Pt_K/AMOR-10$, 4 – $Pt_K/AMOR-5$, 5 – Pt_K/Al_2O_3 , $P = 1,5$ МПа, $ОСПС = 2$ ч⁻¹, $H_2/CH = 3$ моль/моль, объем катализатора – 2 см³, фракция 0,25–0,75 мм

300 и 310 °С наблюдается близкое к равновесному (3,9–4,4) соотношение МЦП/ЦГ, достигаемое при увеличении температуры реакции. Однако для образца с содержанием цеолита 70 мас.% увеличение температуры вызывает развитие побочных реакций гидрокрекинга гептанов и раскрытия колец, снижающих выход метилциклопентана и выход жидких продуктов в целом. Снижение кислотности платинового катализатора на основе морденита за счет введения оксида алюминия (см. рис. 3) и снижения содержания цеолита в образцах до 30 мас.% способствует сохранению высокого (15–16 мас.%) выхода МЦП как за счет перехода в более высокотемпера-

Таблица 4

Гидроизомеризация смеси бензол/*n*-гептан в массовом соотношении 20/80

Катализатор	Температура, °С	Выход ЦГ, %	Выход МЦП, %	Соотношение МЦП/ЦГ	Конверсия <i>n</i> -C ₇ , %	Выход <i>i</i> -C ₇ , %	Выход C ₅₊ , %
Pt _K /AMOR-70	300	3,8	16,2	3,85	78	35,7	78,4
	310	3,2	14,9	3,99	87	22,3	52,6
Pt _K /AMOR-30	То же	3,9	15,7	4,05	69	35,0	81,0
		3,3	14,7	4,43	80	33,7	70,3
Pt _K /AMOR-10	»	5,0	15,0	2,77	48	29,5	92,2
		3,8	16,0	4,18	64	36,9	86,7
Pt _K /AMOR-5	»	6,2	10,7	1,73	33	25,4	96,8
		4,6	13,7	3,01	49	33,5	94,1
Pt _K /Al ₂ O ₃	»	19,7	0,2	0,01	следы	0,9	99,6
		19,5	0,3	0,01	следы	0,9	99,6
Примечание. Условия: <i>P</i> = 1,5 МПа, ОСПС = 2 ч ⁻¹ , H ₂ /CH = 3 моль/моль, объем катализатора – 2 см ³ , фракция 0,25–0,75 мм.							

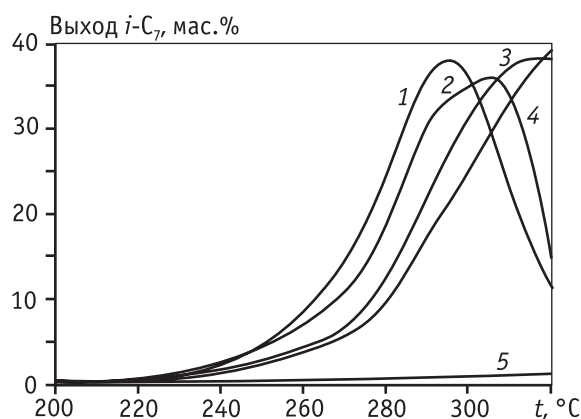


Рис. 6. Температурная зависимость выхода изомеров гептана на катализаторах Pt_K/AMOR при гидроизомеризации смеси бензол/ n -гептан в массовом соотношении 20/80

1 – $\text{Pt}_K/\text{AMOR-70}$, 2 – $\text{Pt}_K/\text{AMOR-30}$, 3 – $\text{Pt}_K/\text{AMOR-10}$, 4 – $\text{Pt}_K/\text{AMOR-5}$, 5 – $\text{Pt}_K/\text{Al}_2\text{O}_3$. $P = 1,5$ МПа, $\text{ОСПС} = 2 \text{ ч}^{-1}$, $\text{H}_2/\text{CH} = 3$ моль/моль, объем катализатора – 2 см^3 , фракция 0,25–0,75 мм

турную область, так и за счет увеличения селективности изомеризации циклогексана. Это позволяет определить процентное соотношение $\text{MOR}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 30/70$ как оптимальное, снижающее стоимость катализатора и увеличивающее его механическую прочность.

Заключение

Показано, что введение Al_2O_3 в состав цеолитного носителя является одним из способов модифицирования кислотности катализатора $\text{Pt}/\text{MOR}/\text{Al}_2\text{O}_3$. При этом снижение кислотности получаемых катализаторов связано с различной собственной кислотностью цеолита и оксида алюминия.

Установлено, что наиболее эффективным в изомеризации циклогексана, n -гептана и гидроизомеризации бензола является платиносодержащий катализатор (0,3 мас.% Pt), носитель которого содержит 30 мас.% морденита и 70 мас.% оксида алю-

миния. Максимальный выход целевых продуктов изомеризации в присутствии данного катализатора достигается в области температур 280–310 °C, термодинамически благоприятных для образования метилциклопентана из бензола, что свидетельствует о его перспективности для применения в гидроизомеризации бензолсодержащих бензиновых фракций.

Применение в качестве предшественника платины кислоты H_2PtCl_6 обеспечивает доступность реагентов для приготовления промышленных партий катализатора и ценовую привлекательность для его промышленного производства.

Литература

1. Технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту». Утв. Постановлением Правительства РФ от 27 февраля 2008 г. № 118, г. Москва (в ред. Пост. Правительства РФ от 07.09.2011. № 748).
2. Ахметов Т.В., Абдульминев К.Г., Марышев В.Б. // Нефтепереработка и нефтехимия. 2011. № 2. С. 14.
3. Марышев В.Б., Можайко В.Н., Сорокин И.И. // Нефтепереработка и нефтехимия. 2005. № 9. С. 9.
4. Жоров Ю.М. Термодинамика химических процессов. М.: Химия, 1985.
5. Jiménez C., Romero F.J., Roldán R., Marias J.M., Gómez J.P. // Appl. Catal.: A Gen. 2003. V. 249. P. 175.
6. Миначев Х.М., Гаранин В.И., Харламов В.В. // Х.М. Миначев. Избранные труды. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. С. 150.
7. Miyaji A., Okuhara T. // Catal. Today. 2003. V. 81. P. 43.
8. Лавренов А.В., Казаков М.О., Дуплякин В.К., Лихолобов В.А. // Нефтехимия. 2009. Т. 49. № 3. С. 236.
9. Benítez V.M., Grau J.M., Yori J.C., Pieck C.L., Vera C.R. // Energy a. Fuels. 2006. V. 20. P. 1791.
10. Hidalgo C.V., Iton H., Hattory T., Niva M., Murakami Y. // J. of Catal. 1984. 85. P. 362.