

ГИДРОПЕРЕРАБОТКА ДИЗЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ НА МОДИФИЦИРОВАННОМ АЛЮМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ КГО – 12



Б.Т. ТУКТИН^{*},
доктор химических наук,
заведующий лабораторией
моторных топлив,
<https://orcid.org/0000-0003-3670-4010>



А.С. ТЕНИЗБАЕВА¹,
ведущий инженер лаборатории
моторных топлив,
<https://orcid.org/0000-0001-9801-0757>



Г.Т. САЙДИЛДА²,
Phd докторант,
<https://orcid.org/0000-0001-7468-7421>



Д.Е. ШОҒАНБЕК¹,
магистрант,
ведущий инженер лаборатории
моторных топлив,
<https://orcid.org/0000-0002-3683-7473>

^{*} Адрес для переписки. E-mail: tuktin_balga@mail.ru

¹ИНСТИТУТ ТОПЛИВА, КАТАЛИЗА И ЭЛЕКТРОХИМИИ ИМ. Д.В. СОКОЛЬСКОГО,
Республика Казахстан, 050010, Алматы, ул. Кунаева 142

²КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ,
Республика Казахстан, Алматы, 050040 пр. аль-Фараби, 71

В работе приведены результаты исследования гидропереработки гексана, декана и дизельных фракций нефти на новом алюмооксидном цеолитсодержащем катализаторе КГО – 12, модифицированном металлами с переменной валентностью, добавками фосфора и лантана. Процесс гидропереработки изучали в проточной установке высокого давления со стационарным слоем катализатора при температурах 320 – 400° С, давлении 4,0 МПа и объемной скорости подачи сырья 2 ч⁻¹. После гидропереработки дизельной фракции нефти на катализаторе КГО – 12 при 400° С содержание серы в катализате снижается от 0,141 до 0,0092%, а температура застывания понижается от минус 27 до минус 57° С. Изучение процесса гидропереработки дизельной фракции на катализаторе КГО – 12 показало, что одновременно протекают реакции гидроочистки, гидроизомеризации и гидрокрекинга.

Установлено, что разработанный катализатор КГО – 12 обладает высокой активностью в процессе гидропереработки дизельной фракции нефти и позволяет получать низкосерастое малосернистое дизельное топливо.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидропереработка, гексан, декан, дизельная фракция, цеолит, катализатор.

КГО – 12 МОДИФИКАЦИЯ ЛАНТАН АЛЮМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕН КАТАЛИЗАТОРЫНДА ДИЗЕЛЬ ФРАКЦИЯЛАРЫН ГИДРОӨНДЕУ

ТУКТИН Б.Т.¹, – х.ф.д. мотор отындары зертханасының меңгерушісі,
<https://orcid.org/0000-0003-3670-4010>;

ТЕНИЗБАЕВА А.С.¹, – мотор отындары зертханасының жетекші инженері,
<https://orcid.org/0000-0001-9801-0757>;

САЙДІЛДА Г. Т.², – Phd докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,
<https://orcid.org/0000-0001-7468-7421>;

ШОҒАНБЕК Д.Е.¹, – мотор отындары зертханасының жетекші инженері,
<https://orcid.org/0000-0002-3683-7473>

¹Д.В.СОКОЛЬСКИЙ АТЫНДАҒЫ ЖАНАРМАЙ, КАТАЛИЗ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОХИМИЯ ИНСТИТУТЫ,
050010, Алматы, Қазақстан Республикасы, Қонаев к-сі 142

²ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, Алматы, 050040, Әл-Фараби даңғылы, 71

Жұмыста ауыспалы валенттілігі бар металдармен, фосфор және лантан қоспаларымен модифицирленген жаңа алюмооксидті цеолиті бар КГО – 12 катализаторында гександы, деканды және мұнайдың дизель фракцияларын гидроөңдеуін зерттеу нәтижелері келтірілген. Гидроөңдеу процесі 320 – 400° С температурада, 4,0 МПа қысымда және 2 сағат-1 шикізатты жіберудің көлемдік жылдамдығында катализатордың стационарлық қабаты бар жоғары қысымда ағынды қондырғыда зерттелді. КГО – 12 катализаторындағы мұнайдың дизель фракциясын 400° С температурада гидроөңдегеннен кейін катализаттағы күкірт мөлшері 0,141-ден 0,0092%-ға дейін төмендеді, ал қату температурасы минус 27-ден минус 57° С-қа дейін төмендеді. КГО – 12 катализаторындағы дизель фракциясын гидроөңдеу процесін зерттеу гидротазарту, гидроизомерлеу және гидрокрекин реакцияларының бір уақытта жүретінін көрсетті.

Дайындалған КГО – 12 катализаторы мұнайдың дизель фракциясын гидроөңдеу процесінде жоғары белсенділік көрсетті және төмен қататын аз күкіртті дизель отынын алуға мүмкіндік беретіні анықталды.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: гидроөңдеу, гексан, декан, дизель фракциясы, цеолит, катализатор.

HYDROTREATMENT OF DIESEL FRACTIONS ON A MODIFIED ALUMINUM-NICKEL-MOLYBDENUM CATALYST KGO-12

TUKTIN B. T.¹, – Doctor of Chemical Sciences, Head of the Laboratory of Motor Fuels, <https://orcid.org/0000-0003-3670-4010>;

TENIZBAEVA A. S.¹, – Leading Engineer of the Laboratory of Motor Fuels, <https://orcid.org/0000-0001-9801-0757>;

SEIDILDA G. T.², – PhD doctoral student Al-Farabi Kazakh National University, <https://orcid.org/0000-0001-7468-7421>;

SHOGANBEK D. E.¹, – Leading Engineer of the Laboratory of Motor Fuels, <https://orcid.org/0000-0002-3683-7473>

¹D.V. SOKOLSKIY INSTITUTE OF FUEL, CATALISYS AND ELECTROCHEMISTRY, 050010, Almaty, Republic of Kazakhstan, Kunaev street 142

²AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY, 71 al-Farabi Ave., Almaty, Republic of Kazakhstan, 050040

The paper presents the results of the study of hydrotreatment of hexane, decane and diesel oil fractions on a new aluminum oxide zeolite-containing catalyst KGO – 12, modified with metals with variable valence, phosphorus and lanthanum additives. The hydrotreatment process was studied in a high-pressure flow unit with a stationary catalyst bed at temperatures of 320 – 400° C, a pressure of 4.0 MPa, and a volumetric feed rate of 2 h⁻¹. After hydrotreating the diesel fraction of oil on the KGO – 12 catalyst at 400° C, the sulfur content in the catalysate decreases from 0.141 to 0.0092%, and the solidification temperature decreases from minus 27 to minus 57° C. The study of the process of hydrotreatment of the n-alkanes diesel fraction on the KGO – 12 catalyst showed that hydrotreatment, hydroisomerization and hydrocracking reactions occur simultaneously.

It is established that the developed KGO – 12 catalyst has a high activity in the process of hydrotreating the diesel fraction of oil and makes it possible to obtain low-setting low-sulfur diesel fuel.

KEY WORDS: hydrotreatment, hexane, decane, diesel fraction, zeolite, catalyst.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с вовлечением в переработку высокосернистой нефти и углублением ее переработки возросли требования, предъявляемые к катализаторам гидроочистки бензиновых и дизельных фракций нефти. В мировом производстве моторных топлив наблюдается постоянная тенденция ужесточения их экологических характеристик.

Согласно международным стандартам требуется существенное ограничение содержания серы, бензола, ароматических и олефиновых углеводородов в моторных топливах. Во многих странах ведется поиск катализаторов, позволяющих увеличить глубину удаления серосодержащих соединений и усовершенствуется технология производства моторных топлив.

Существующие промышленные катализаторы переработки нефтяных фракций в Казахстане и странах СНГ не удовлетворяют возросшим требованиям к качеству моторных топлив. Перспективной является разработка одностадийных процессов каталитического облагораживания нефтяных фракций с использованием цеолит-содержащих полифункциональных катализаторов. В нефтеперерабатывающей промышленности для получения высококачественных моторных топлив все более широко применяются процессы гидроочистки и гидроизомеризации. Катализаторы на основе высококремнеземных цеолитов находят широкое применение во многих процессах нефтепереработки и нефтехимии. Их активность и селективность опре-

деляется уникальными кислотно-основными и молекулярно-ситовыми свойствами. Эффективным способом повышения активности катализаторов гидроочистки является ведение в состав катализатора металлов с переменной валентностью и цеолитов в качестве модификаторов [1-12].

В работе приведены результаты исследования гидропереработки n – алканов и дизельных фракций на новом алюмоникельмолибденовом катализаторе, модифицированном добавками цеолита ZSM – 5, фосфора и лантана (КГО – 12).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Гидропереработку n – алканов и дизельных фракций проводили на модифицированном цеолитсодержащем алюмоникельмолибденовом катализаторе Ni – Mo – La – P – ZSM – Al₂O₃ (КГО – 12). Катализатор КГО – 12 готовили пропиткой смеси гидроксида алюминия с высококремнеземным цеолитом ZSM – 5 воднорастворимыми солями никеля, молибдена, лантана, а также фосфорной кислотой. После пропитки катализатор формовали и сушили при 150⁰С в течении 5 часов, далее прокаливали при 550⁰С в течении 5 часов. Активность катализатора изучали в проточной установке со стационарным слоем катализатора в процессах гидропереработки n-алканов и дизельных фракций при температурах 320 – 400⁰С, объемной скорости подачи сырья 2 час⁻¹, давлении 4,0 МПа. Углеводородный состав продуктов реакции анализировали на хроматографах «Хроматэк-Кристалл 5000.2». Температуры застывания, помутнения и предельную температуру фильтруемости дизельного топлива определяли на приборах «ЛАЗ-М2» и «ЛАЗ-М3». Анализ содержания серы в исходном сырье и продуктах проводился в ТОО «Oilsert International» и лаборатории физико-химических методов «ИТКЭ им. Д.В.Сокольского».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На катализаторе КГО – 12 был изучен процесс гидропереработки n-алканов и дизельных фракций. При гидропереработке гексана на катализаторе КГО – 12 показано, что в интервале температур 320 – 400⁰С в образующемся катализате содержится 17,8 – 30,5% изоалканов (таблица 1). Степень конверсии и состав образующихся соединений зависит от температуры процесса (таблица 1). Степень превращения гексана при 320⁰С, V = 2 час⁻¹ и P_{H₂} = 4,0 МПа равна 27,1%. В продуктах реакции содержатся легкие C₁ – C₄-алканы (7,7%), n-алканы C₅ – C₇ (73,3%), изоалканы C₄ – C₆ (17,8%) и незначительное количество ароматических углеводородов (1,2%).

Таблица 1 – Гидропереработка n-гексана на катализаторе КГО – 12 при V = 2,0 час⁻¹, P = 4,0 МПа, H₂ : сырье = 200 : 1

Состав катализата, %	Температура процесса, °С			
	320	350	380	400
Алканы C ₁ – C ₄	7,7	16,7	35,7	43,5
n-алканы C ₅ – C ₇	73,3	56,7	33,3	23,6
Изоалканы C ₄ – C ₆	17,8	25,5	28,9	30,5
Ароматические углеводороды	1,2	1,1	2,1	2,4
Конверсия	27,1	55,1	72,1	85,1

При варьировании температуры в интервале 320 – 400°С степень конверсии н-гексана возрастает до 85,1%. При T = 400°С усиливается крекинговое направление процесса, о чем свидетельствует увеличение выхода легких C₁ – C₄-алканов до 43,5% и снижение количества C₅ – C₇-углеводородов нормального строения до 23,6%. В этих условиях растет выход изо-алканов C₄ – C₆ – до 30,5, т.е почти в 1,5 раза. Количество ароматических углеводородов при T = 400°С равно 2,4 %.

В данном разделе представлены результаты исследований гидропереработки модельных н-алканов C₆ – C₁₄ на катализаторе КГО – 12, модифицированных Ni, Mo и ZSM. В *таблице 1 – 3* приведены результаты исследования влияния природы н-алканов C₆ – C₁₄ на направление каталитического гидрокрекинга и гидроизомеризации на катализаторе КГО – 12.

Таблица 2 – Гидропереработка декана на катализаторе КГО – 12 при 4,0 МПа, V = 2,0 час⁻¹

Состав катализата, % масс.	Температура реакции, °С			
	320	340	380	400
Выход газовой фазы	12,5	18,4	23,2	27,5
Выход жидкой фазы	87,5	62,4	64,2	62,9
Конверсия	71,6	80,8	87,4	90,4
Выход н-алканов	33,3	39,9	44,6	46,5
Выход изоалканов	38,3	40,9	42,8	43,9

Из данных *таблицы 1,2,3* видно, что при гидрокрекинге и гидроизомеризации н-алканов C₆ – C₁₄ с увеличением температуры от 320°С до 400°С растет выход газообразных продуктов. Максимальный выход газообразных продуктов наблюдается при высокой температуре процесса – 400°С (P = 4,0 МПа, V = 2,0 час⁻¹), а самый низкий выход газообразных продуктов найден при температуре 320°С. При T = 320°С, P = 4,0 МПа, V = 2,0 час⁻¹ с увеличением длины углеводородной цепи н-алканов от C₄ до C₁₄ наблюдается уменьшение выхода газообразных продуктов, увеличение выхода изоалканов и рост степени конверсии.

Тетрадекан является модельным углеводородом, представляющим собой алкан, входящий в состав дизельной фракции нефти. В связи с этим было изучено превращение тетрадекана на разработанных модифицированных цеолитсодержащих катализаторах при варьировании технологических параметров процесса.

При гидропереработке тетрадекана на катализаторах КГО – 12 (*таблица 3*) конверсия растет от 35,0 до 84,0% при повышении температуры от 320 до 400°С. Выход жидких продуктов колеблется в пределах 51,0 – 88,0%. В продуктах обнаружены алканы (37,4 – 75,0%), изо-алканы (до 37,7%), олефины (до 2,6%), ароматические и нафтеновые углеводороды до 15,7 и 6,6% соответственно.

С ростом температуры реакции степень конверсии тетрадекана возрастает. Усиливается крекинг, повышается содержание C₁ – C₄-алканов. Анализ результатов,

Таблица 3 – Гидропереработка тетрадекана на КГО – 12 при 4,0 МПа, V = 2,0 час⁻¹

Продукты в жидкой фазе, %	Т, °С			
	320	350	380	400
Алканы	75,0	60,8	50,1	37,4
Изо-алканы	17,1	24,2	28,5	37,7
Олефины	2,2	2,5	2,9	2,6
Ароматические углеводороды	3,7	8,9	14,8	15,7
Нафтеновые углеводороды	2,0	3,6	3,7	6,6
Выход газовой фазы	12,0	27,0	39,0	49,0
Выход жидкой фазы	88,0	73,0	61,0	51,0
Конверсия	35,0	37,0	71,0	84,0

Таблица 4 – Гидроочистка и гидроизомеризация дизельной фракции на катализаторе КГО – 12 при 4,0 МПа, V = 2,0 час⁻¹

Катализатор	Температура процесса, °С	Массовая доля серы, %	Температура застывания, °С	Температура помутнения, °С	Выход, %
Исходная дизельная фракция		0,141	- 27	-23	
КГО – 12	320	0,1051	- 45	- 41	97,8
	350	0,0870	- 53	- 47	95,7
	380	0,0215	- 55	- 53	93,6
	400	0,0092	- 57	- 55	92,1

полученных при превращении тетрадекана, свидетельствуют о том, что разработанный нами модифицированный цеолитсодержащий катализатор КГО – 12 проявляет полифункциональные свойства и одновременно проводят реакции изомеризации n-алканов, дегидрирования и дегидроциклизации.

Катализатор КГО – 12 испытан в процессе гидропереработки дизельной фракции нефти (таблица 4). Температура застывания дизельной фракции после ее гидропереработки на катализаторах КГО-12 температура застывания снизилась на 30°С по сравнению с исходным сырьем. Гидропереработка дизельной фракции при 400°С на этом катализаторе температура застывания дизельного топлива понижается до минус 57°С, при этом выход жидкой фазы составляет 92,1%. Изучение процесса гидропереработки дизельной фракции на катализаторе КГО – 12 показало, что одновременно протекают реакции гидроочистки, гидроизомеризации и гидрокрекинга. После гидропереработки дизельной фракции нефти на катализаторе КГО – 12 при 400°С содержание серы в катализате снижается от 0,141 до 0,0092%, а температура застывания понижается от минус 27 до минус 57°С.

Исходная дизельная фракция характеризуется большим содержанием n-алканов, которые застывают при более высоких температурах, по сравнению с их разветвленными аналогами. При гидропереработке дизельных фракций на полифункциона-

нальном катализаторе КГО – 12 в результате реакции гидроизомеризации n-алканов и частичного гидрокрекинга высокомолекулярных углеводородов температура застывания значительно понижается. Температура застывания дизельной фракции после гидроочистки – гидроизомеризации на катализаторе КГО – 12 снизилась на 18 – 30,0°С по сравнению с исходным сырьем. Наиболее сильное снижение температуры застывания на катализаторе КГО – 12 происходит в интервале температур 380 – 400°С, при 4,0 МПа объемной скорости 2,0 ч⁻¹ и получено малосернистое зимнее дизельное топливо.

Степень гидрокрекинга сырья до C₁ – C₄ углеводородов невелика и составляет 3,2 – 8,9%. При гидропереработке дизельной фракции нефти на катализаторе КГО – 12, получено малосернистое низкозастывающее дизельное топливо. Основным направлением процессов гидропереработки n-гексана, n-декана, тетрадекана, а также дизельной фракции на катализаторе КГО – 12 является изомеризация n-алканов. Высокое содержание изоалканов в катализате и ограниченное содержание ароматических и олефиновых углеводородов положительно влияет на качество дизельного топлива – снижается температура застывания и помутнения, дымность и др. Гидроизомеризация n-парафинов в низкозастывающие изопарафины является наиболее эффективным методом производства низкозастывающих дизельных топлив. Достоинства гидроизомеризации – гибкость процесса. В летнее время его можно применять в режиме гидроочистки, в зимнее – в режиме гидроизомеризации. В последнем режиме из прямогонной фракции получают как зимнее дизельное топливо (75 – 85%), так и высокооктановый изокомпонент бензина. Температура застывания дизельной фракции зависит от содержания в ней n-парафиновых углеводородов. Это содержание может быть снижено путем гидроизомеризации или селективного гидрокрекинга. В первом случае n-парафиновые углеводороды превращаются в изопарафиновые углеводороды, во втором подвергаются преимущественно гидрокрекингу благодаря молекулярно-ситовому действию катализатора. Оба процесса способствуют снижению температуры застывания дизельной фракции [11, 12].

Таким образом, данные, полученные при исследовании процесса гидропереработки n-алканов и дизельной фракции на катализаторе КГО – 12, показывают, что рассмотренная каталитическая система обладает полифункциональными свойствами и способна одновременно проводить несколько процессов. Процесс превращения протекает по сложному механизму, включающему гидрообессеривание и гидрокрекинг по C – H и C – C – связям с образованием низкомолекулярных n- и изо-алканов и олефинов, которые на поверхности катализатора вступают во вторичные процессы циклизации (нафтен), дегидроциклизации (ароматические углеводороды), гидрирования, алкилирования. Разработанный катализатор по активности в процессах гидропереработки дизельных фракций нефти превосходит известные промышленные катализаторы [1, 2]. Катализатор позволяет получать малосернистое низкозастывающее дизельное топливо.

Полифункциональный катализатор КГО – 12 рекомендуется к пилотным испытаниям на нефтеперерабатывающих заводах в процессе гидропереработки дизельной фракции для получения малосернистого низкозастывающего дизельного топлива.

Источник финансирования исследований: Работа выполнена по грантовому проекту: ИРН-АРО887065 «Создание научных основ разработки новых эффективных катализаторов и технологии глубокой гидропереработки вакуумного газойля для получения высококачественных моторных топлив» .

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Хавкин В.А., Чернышева Е.А., Гуляева Л.А. Гидрогенизационные процессы получения моторных топлив. – Уфа, 2013. – 259 с. [Havkin V.A., Chernysheva E.A., Gulyaeva L.A. Hidrogenizatsionnyye processy polucheniya motornyh topliv. – Ufa, 2013. – 259 s.]
- 2 Смирнов В.К., Ирисова К.Н., Талисман Е.Л. Новые катализаторы гидрооблагораживания нефтяных фракций и опыт их эксплуатации // Катализ в промышленности. – 2003. -№ 2. – С. 30-36. [Smirnov V.K., Irisova K.N, Talisman E.L. Novye katalizatory gidrooblagorazhivaniya neftyanyh frakcij i opyt ih ekspluatatsii // Kataliz v promyshlennosti. – 2003. -№ 2. – S. 30-36.]
- 3 Томина Н.Н., Пимерзин А.А., Логинова Л.Н., Шарихина М.А., Жилкина Е.О., Еремина Ю.В. Каталитическое гидрооблагораживание нефтяных фракций на модифицированных алюмоникельмолибденовых катализаторах // Нефтехимия. – 2004. – № 44. – С. 274- 277. [Tomina N.N., Pimerzin A.A., Loginova L.N., SHarikhina M.A., ZHilkina E.O., Eremina YU.V. Kataliticheskoe gidrooblagorazhivanie neftyanyh frakcij na modifitsirovannyh alyumonikel'molibdenovyh katalizatorah // Neftekhimiya. – 2004. – № 44. – S. 274- 277.]
- 4 Кашин О.Н., Ермоленко А.Д. Проблемы производства высококачественных бензинов и дизельных топлив // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2005. – №5. – С. 32-38. [Kashin O.N., Ermolenko A.D. Problemy proizvodstva vysokokachestvennyh benzinov i dizel'nyh topliv // Neftepererabotka i neftekhimiya. – 2005. – №5. – S. 32-38.]
- 5 Онойченко С.Н., Емельянов В.Е., Крылов И.Ф. Современные и перспективные топлива и автомобильные бензины // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – №6. – С. 3-6. [Onojchenko S.N., Emel'yanov V.E., Krylov I.F. Sovremennye i perspektivnyye topliva i avtomobil'nye benziny // Himiya i tekhnologiya topliv i masel. – 2003. – №6. – S. 3-6.]
- 6 Ясьян Ю.П., Колесников А.Г., Завалинский Д.В., Завалинская И.С. Превращение прямогонных бензиновых фракций на цеолитсодержащих катализаторах // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – №5. – С. 32-35. [Ys'yan U.P., Kolesnikov A.G., Zavalinskij D.V., Zavalinskaya I.S. Prevrashchenie pryamogonnyh benzinovyh frakcij na ceolitsoderzhashchih katalizatorah // Himiya i tekhnologiya topliv i masel. – 2003. – №5. – S. 32-35.]
- 7 Rodriguez-Castellon E., Jimenez-Lopez A., Eliche-Quesada D. Nickel and cobalt promoted tungsten and molybdenum sulfide mesoporous catalysts for hydrodesulfurization. Fuel. 2008;87:1195–2006.
- 8 Dengqian Zhang, Aijun Duan, Zhen Zhao, Chunming Xu. Synthesis, characterization and catalytic performance of NiMo catalysts supported on hierarchically porous Beta-KIT-6 material in the hydrodesulfurization of dibenzothiophene. J. of catalysis. 2010;274(2):273–286.
- 9 Бухтиярова Г.А., Власова Е.Н., Александров П.В., Токтарев А.В., Патрушев Ю.В., Носков А.С., Кондрашев Д.О., Головачев Е.А., Клейменов А.В., Абращенко П.А., Кузнецов С.Е., Галкин В.В. Гидрооблагораживание смесей прямогонной дизельной фракции с легким газойлем каталитического крекинга с использованием сульфидного NiMo катализатора на цеолитсодержащем цеолите // Катализ в промыш-

- ленности. – 2016. – №6. – С. 23-32. [Buhtiyarova G.A., Vlasova E.N., Aleksandrov P.V., Toktarev A.V., Patrushev YU.V., Noskov A.S., Kondrashev D.O., Golovachev E.A., Klejmenov A.V., Abrashenkov P.A., Kuznecov S.E., Galkin V.V. Hidrooblagorazhivanie smesej pryamogonnoj dizel'noj frakcii s legkim gazozjem kataliticheskogo krekinga s ispol'zovaniem sul'fidnogo NiMo katalizatora na ceolitsoderzhashchem ceolite // Kataliz v promyshlennosti. – 2016. – №6. – S. 23-32.]
- 10 Ионе К.Г. Полифункциональный катализ на цеолитах. – Новосибирск: Наука, 1982. – 272 с. [Ione K.G. Polifunkcional'nyj kataliz na ceolitah. – Novosibirsk: Nauka, 1982. – 272 s.]
- 11 Бабынин А.А., Смирнов В.К., Ванина К.М., Шайхетдинов Р.Н., Ирисова К.Н., Талисман Е.Л. Превращения n-алканов в процессе гидрооблагораживания средне-дистиллятных фракций на цеолитсодержащих катализаторах // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2006. – №7. – С.10-14. [Babynin A.A., Smirnov V.K., Vanina K.M., SHajhetdinov R.N., Irisova K.N., Talisman E.L. Prevrashcheniya n-alkanov v processe gidrooblagorazhivaniya sredne-distillyatnyh frakcij na ceolitsoderzhashchih katalizatorah // Neftepererabotka i neftekhimiya. – 2006. – №7. – S.10-14.]
- 12 Смирнов В.К., Бабынин А.А., Ирисова К.Н., Талисман Е.Л. Влияние состава сырья на эффективность эксплуатации катализаторов превращения n-парафиновых углеводородов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2006. – №8. – С. 20-24. [Smirnov V.K., Babynin A.A., Irisova K.N., Talisman E.L. Vliyanie sostava syr'ya na effektivnost' ekspluatatsii katalizatorov prevrashcheniya n-parafinovyh uglevodorodov // Neftepererabotka i neftekhimiya. – 2006. – №8. – S. 20-24.]