

М. М. Бекешев (магистрант)¹, Р. Х. Ибрашева (д.х.н., проф., рук. пр.)²,
И. В. Цветкова (к.х.н., доц.)¹

КРЕКИНГ ПАРАФИНИСТОГО МАЗУТА НА КАТАЛИЗАТОРАХ ИЗ ПРИРОДНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

¹ Тольяттинский государственный университет, кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14; e-mail: irina.cvetkova.56@mail.ru

² ТОО «ТехноСервис К»

050000, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Досмухамедова, д. 14; e-mail: irina.cvetkova.56@mail.ru

M. M. Bekeshev¹, R. H. Ibrascheva², I. V. Tsvetkova¹

CRACKING OF PARAFFIN FUEL OIL ON CATALYSTS FROM NATURAL ALUMINOSILICATES

¹ Tolyatti state University

14, Belorusskaya Str., 445020, Tolyatti, Russia; e-mail: irina.cvetkova.56@mail.ru

² ТОО «TechnoService K»

14, Dosmukhamedova Str., 050000, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: irina.cvetkova.56@mail.ru

Разработка на основе казахстанских природных цеолитов и глин дешевых и доступных катализаторов, осуществляющих одностадийный крекинг мазутов с высокой степенью конверсии в светлые нефтепродукты, позволит существенно улучшить технико-экономические и экологические показатели по сравнению с промышленными процессами крекинга тяжелых нефтяных остатков вследствие ликвидации стадий предварительного облагораживания крекируемого сырья и регенерации катализатора. По Программе коммерциализации результатов научно-технологических работ Фонда науки Республики Казахстан предполагается создание авторами данной статьи установки окислительного каталитического крекинга мазутов, полученных из казахстанских нефтей. Показано, что химический состав природных цеолитов и глин влияет на крекирующие свойства синтезированных на их основе композитных катализаторов при окислительной деструкции мазута из парафинистой кумкольской нефти.

Ключевые слова: глины; ИК-спектроскопия; каталитический крекинг; мазут; природные цеолит; композитный катализатор; легкий газойль; хроматомасс-спектрометрия.

The development of cheap and affordable catalysts from Kazakhstan's natural zeolites and clays that perform single-stage cracking of fuel oils with a high degree of conversion to light oil products will significantly improve technical, economic and environmental performance compared to industrial processes for cracking heavy oil residues due to the elimination of the stages of pre-refining of the cracked raw materials and catalyst regeneration. According to the Program for the Commercialization of the Results of Scientific and Technological Activities of the Science Foundation of the Republic of Kazakhstan, it is proposed that the authors of this article create oxidative catalytic cracking units for fuel oils obtained from Kazakhstani oils. It is shown that the chemical composition of natural zeolites and clays affects the cracking properties of the composite catalysts synthesized based on them during the oxidative destruction of fuel oil from paraffinic Kumkol oil.

Key words: catalytic cracking; clays; composite catalyst; fuel oil; GC -MS spectrometry; IR-spectroscopy; light gas oil; natural zeolite.

Казахстанские нефти характеризуются значительным содержанием тяжелого углеводородного сырья, которое отличается от легкого составом и температурой конца кипения, характеризуется значительным содержанием полициклоалканов, конденсированных ароматических углеводородов и асфальтенов.

При повышении температуры конца кипения вакуумных дистиллятов снижается расход нефти, а при переходе на мазут, кроме того, сокращаются капитальные и эксплуатационные затраты за счет исключения вакуумной перегонки мазута. Указанные соображения обусловили быстрое распространение процессов каталитического крекинга остаточного сырья в США, Западной Европе и Японии.

Условно дистиллятное сырье можно разделить на обычное (с температурой конца кипения 500 °С) и тяжелое (с температурой конца кипения до 620 °С); остаточное — на мазут и гудрон; смешанное — на вакуумный дистиллят в смеси с мазутами или гудронами.

Применение в качестве сырья для переработки на установках каталитического крекинга фракции с концом кипения 540–580 °С позволяет увеличить его ресурсы на 5–10 % по сравнению с вакуумным дистиллятом, имеющим конец кипения 500 °С.

Однако наиболее рациональным способом обеспечения экономичной работы установок каталитического крекинга является специальная подготовка сырья. Таким сырьем являются остатки прямой перегонки нефти, остатки продуктов перегонки термического крекинга, пиролиза, а также высококипящие ароматизированные концентраты и газойли, получаемые на основе дистиллятных продуктов и т.д. Эти тяжелые нефтяные остатки представляют собой исключительно сложную многокомпонентную и полидисперсную по молекулярной массе смесь высокомолекулярных углеводородов и гетеро соединений, включающих, кроме углерода и водорода, серу, азот, кислород и такие металлы, как ванадий, никель, железо, молибден и т.д..

В качестве катализаторов каталитического крекинга активно используются синтетические цеолиты типа ZSM-5¹, цеолитсодержащие катализаторы марки Цеокар и КМЦР², последние активно использовались при переработке газоконденсатного мазута³. Исследование природных казахстанских цеолитов и глин показало возможность их применения в качестве основы для катализаторов каталитического крекинга в процессах переработки тяжелых нефтяных остатков.

Материалы и методы исследования

В качестве испытуемых катализаторов были использованы тайжузгенский цеолит в смеси с нарынкольской и мангистауской глинами.

Катализаторы готовились смешением в различных пропорциях активированного ионным обменом тайжузгенского цеолита с нарынкольской или мангистауской глинами с последующим прокаливанием композитов при 550 °С. Отработанный мелкодисперсный катализатор остается в тяжелом остатке продуктов крекинга и, наряду с парами светлых нефтепродуктов, выводится из реактора. Исследования проводились на мазуте из кумкольской нефти.

Новизна технологии заключалась в осуществлении процесса при непрерывном вводе с объемной скоростью 1 ч⁻¹ в проточный реактор низкопроцентной суспензии катализатора в мазуте. Объемная скорость крекируемого сырья рассчитана на объем всего реактора, что обеспечивает высокую производительность технологии. Одновременно с мазутом в реактор подавался воздух с объемной скоростью 0.2 ч⁻¹. Процесс проводили при 480 °С.

По сравнению с промышленными, процесс упрощен за счет исключения стадий предварительной очистки мазута от каталитических ядов и регенерации катализатора, что значительно уменьшало образование токсичных продуктов.

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 представлен фракционный состав мазута из кумкольской нефти и содержание серы, входящей в состав углеводородных молекул различных фракций.

Таблица 1

Фракционный состав и концентрация серы в мазуте и его фракциях

Фракционный состав	Содержание, % мас.	
	углеводородов фракции	серы
Мазут	100.0	0.5
Бензин	0.6	-
Легкий газойль	25.3	0.2
Вакуумный газойль	35.9	0.6
Гудроновый остаток	37.7	0.5
Потери	0.5	-

Несмотря на то, что исходная нефть предварительно подвергалась ректификации, в мазут входят остаточные количества бензина, керосиногазойлевой фракции. Однако основное содержание составляют тяжелые фракции: 35.9% мас. вакуумного дистиллята и 37.7% мас. тяжелого остатка.

При определении концентрации серы во фракциях мазута установлено, что ее максимум наблюдается в вакуумном газойле и гудроновом остатке.

По данным ИК-спектрального анализа, в мазуте содержатся в основном парафиновые углеводороды нормального строения. Углеводородный состав всех исследованных фракций идентичен составу исходного мазута.

Данные хроматомасс-спектрометрического анализа остаточного легкого газойля подтверждает вывод, сделанный по данным ИК-спектроскопии о преимущественном содержании в этой фракции парафиновых углеводородов в основном с числом атомов углерода в молекулах от 10 до 21.

Крекинг мазута на композитах из тайжузгенского цеолита и нарынкольской глины.

Выходы продуктов крекинга мазута в 0,2%-ной смеси с катализаторами на основе нарынкольской глины и тайжузгенского цеолита представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что в инертной атмосфере крекинг мазута в очень незначительной степени идет до газообразных углеводородов и бензина, т.к. содержание легкого газойля в продуктах крекинга по сравнению с его содержанием в исходном мазуте (табл. 1) не увеличивается. При этом изменение количественного соотношения цеолита и глины не влияет на активность композитов.

При подаче в реактор воздуха выход газа и бензина не изменяется, а выход легкого га-

зойля возрастает на 2–8 % мас. Так как исходный мазут содержит остаточный легкий газойль, следовало выяснить степень его участия в образовании легких фракций. Для этого из мазута отгонялась фракция с температурой конца кипения 350 °С, после чего полученные легкий газойль и тяжелый остаток, выкипающий при температуре выше 350 °С, подвергались крекингу в суспензии композитов с различным соотношением тайжузгенского цеолита и нарынкольской глины.

Результаты крекинга фракции легкого газойля представлены в табл. 3. Степень деструкции легкого газойля не превышает 13,5%, причем газообразные углеводороды образуются в том же количестве, что и при крекинге исходного мазута (табл. 2). Однако выход бензиновых фракций повышается на 3–6 % мас. Это свидетельствует о том, что при крекинге исходного мазута деструкция молекул углеводородов остаточного легкого газойля подавляется за счет реакции распада тяжелых углеводородов.

Кроме того, соотношение легкой (185–340 °С) и более тяжелой (340–350 °С.) фракций легкого газойля, полученного при крекинге мазута, составляет 1:0,5 (табл. 2), в то время, как в продуктах крекинга остаточного легкого газойля оно составляет 1:0,1 (табл. 3). Следовательно, образование более тяжелой фракции легкого газойля происходит в результате деструкции входящих в состав мазута высокомолекулярных углеводородов.

В табл. 4 даны результаты крекинга фракции, выкипающей выше 350 °С.

Таблица 2

Выход продуктов крекинга мазута в 0,2%-ных суспензиях композитов с различным соотношением нарынкольской глины и тайжузгенского цеолита

Содержание цеолита в композите, % мас.	Выход продуктов крекинга, мас. %							Итого
	газ	бензин	легкий газойль 185–340 °С.	легкий газойль 185–340 °С.	общее кол-во легкого газойля	тяжелый остаток	потери	
В инертной атмосфере								
0	2.7	1.8	16.4	9.0	25.4	70.1	0	100.0
5	3.1	1.8	16.3	9.0	25.3	69.8	0	100.0
10	4.9	1.8	16.4	9.0	25.4	67.7	0.2	100.0
14	5.3	1.9	16.3	9.0	25.3	67.5	0	100.0
20	4.9	1.8	16.3	9.0	25.3	67.9	0.1	100.0
50	4.6	1.8	16.3	9.0	25.3	68.3	0	100.0
80	4.2	1.8	16.3	9.0	25.3	68.7	0	100.0
100	4.3	1.7	16.4	9.0	25.4	67.9	0.7	100.0
При подаче воздуха ($w=0.2 \text{ ч}^{-1}$)								
0	3.1	1.0	21.1	6.5	27.6	68.3	0	100.0
5	3.7	1.2	21.2	7.8	29.0	65.9	0.2	100.0
10	4.2	1.3	21.4	8.4	29.8	64.6	0.1	100.0
14	4.6	1.6	21.9	11.2	33.1	60.6	0.1	100.0
20	4.6	1.7	21.9	11.0	33.9	59.8	0	100.0
50	4.9	1.7	21.9	10.8	32.7	60.7	0	100.0
80	4.9	1.8	21.9	10.6	32.5	60.8	0	100.0
100	4.9	1.9	21.9	9.5	31.4	61.8	0	100.0

Таблица 3

Выход продуктов крекинга отогнанного из мазута легкого газойля в 0.2%-ных суспензиях композитов с различным соотношением нарынкольской глины и тайжузгенского цеолита

Содержание цеолита в композите, мас. %	Выход продуктов крекинга, % мас.							Итого
	газ	бен- зин	легкий газойль 185–340 °С	легкий газойль 340–350 °С	общее кол-во легкого газойля	тяжелый остаток	потери	
В инертной атмосфере								
0	3.2	4.7	67.2	24.9	92.1	0	0	100.0
5	4.5	4.9	67.8	22.8	90.6	0	0	100.0
10	5.3	5.1	68.6	21.0	89.6	0	0	100.0
14	5.8	5.3	71.5	17.4	88.9	0	0	100.0
20	5.5	4.9	69.3	20.3	89.6	0	0	100.0
50	5.2	4.6	67.3	22.9	90.2	0	0	100.0
80	4.8	4.3	65.5	25.4	90.9	0	0	100.0
100	4.5	4.1	65.2	26.2	91.4	0	0	100.0
При подаче воздуха ($w=0.2 \text{ ч}^{-1}$)								
0	3.7	5.2	70.3	20.8	91.1	0	0	100.0
5	4.8	5.3	72.7	17.2	89.9	0	0	100.0
10	5.9	5.3	72.9	15.9	88.8	0	0	100.0
14	6.9	6.6	75.6	10.9	86.5	0	0	100.0
20	6.6	6.2	73.9	13.3	87.2	0	0	100.0
50	6.0	5.9	72.7	15.4	88.1	0	0	100.0
80	5.7	5.6	71.7	17.0	88.7	0	0	100.0
100	5.5	5.1	71.7	18.3	89.4	0	0	100.0

Таблица 4

Выход продуктов крекинга фракции, выкипающей выше 350 °С, в 0.2%-ных суспензиях композитов с различным соотношением нарынкольской глины и тайжузгенского цеолита

Содержание цеолита в композите, % мас.	Выход продуктов крекинга, мас. %							Итого
	газ	бензин	легкий газойль 185–340 °С	легкий газойль 340–350 °С	общее кол- во легкого газойля	тяжелый остаток	потери	
В инертной атмосфере								
0	1.9	0.8	0	0	0	97.3	0	100.0
5	2.1	0.8	0	0	0	97.1	0	100.0
10	2.2	0.8	0	0	0	97.0	0	100.0
14	2.6	0.8	0.6	0	0.6	96.0	0	100.0
20	2.3	0.8	0.4	0	0.4	96.5	0	100.0
50	2.1	0.8	0	0	0	97.1	0	100.0
80	2.0	0.8	0	0	0	97.2	0	100.0
100	1.8	0.7	0	0	0	97.5	0	100.0
При подаче воздуха (w=0.2 ч ⁻¹)								
0	2.4	0.8	1.5	1.1	2.6	94.2	0	100.0
5	2.8	0.8	2.1	1.8	3.9	92.5	0	100.0
10	3.1	0.9	2.8	1.8	4.6	91.4	0	100.0
14	3.7	1.1	5.6	2.4	8.0	87.2	0	100.0
20	3.2	1.0	5.6	2.2	7.8	88.0	0	100.0
50	2.9	0.9	5.4	2.1	7.5	88.7	0	100.0
80	2.7	0.9	5.2	2.1	7.3	89.1	0	100.0
100	2.1	0.8	4.8	2.0	6.8	90.3	0	100.0

При сопоставлении данных табл. 2 и 4 можно сделать вывод о количественном совпадении выходов легкого газойля за счет крекинга углеводородов с температурой кипения выше 350 °С. При этом из общего количества легкого газойля в продуктах крекинга исходного мазута (табл. 2) необходимо вычесть 25.3% мас. содержащегося остаточного легкого газойля, в результате чего получаются те же количественные выходы легкого газойля, что и приведенные в табл. 4.

Следовательно, высокомолекулярные углеводороды тяжелой фракции не крекируются до газообразных и углеводородов бензиновой фракции, а лишь в незначительной степени деструктируют с образованием среднестиллятной фракции. В результате окислительного каталитического крекинга как мазута, так и его тяжелого остатка выход легкого газойля увеличивается от 2 до 8 % мас., причем оптимальным является композит, содержащий 14% мас. активированного цеолита.

Согласно литературным данным ^{1–3}, интенсификация процесса при окислительном крекинге может быть обусловлена инициированием углеводородов кислородом или озоном за счет образования озонидов и пероксидных радикалов, в результате чего ускоряются протекающие в ходе крекинга радикально-цепные реакции.

Так как композиты из тайжузгенского цеолита и нарынкольской глины практически не активны в реакции крекинга мазута, содержащего парафиновые углеводороды, можно сделать вывод о том, что каталитические центры таких композитов не активиру-

ют стабильные молекулы алканов, в результате чего радикально-цепные процессы их деструкции не развиваются на поверхности этих систем.

Крекинг мазута на композитах из тайжузгенского цеолита и мангистауской глины. При замене в катализаторах нарынкольской глины на мангистаускую крекирующая активность композита, содержащего 14% мас. цеолита, при окислительном крекинге мазута увеличивается вдвое (табл. 5), в то время как при крекинге тяжелого остатка мазута в таких же условиях она возрастает в пять раз (табл. 6).

Таблица 5

Выход продуктов крекинга мазута в 0.2%-ных суспензиях композитов с различным соотношением мангистауской глины и тайжузгенского цеолита

Содержание цеолита в ком- позите мас. %	Выход продуктов крекинга, мас. %							Итого
	газ	бензин	легкий га- зойль 185– 340 °С	легкий га- зойль 185– 340 °С	общее кол- во легкого газойля	тяжелый остаток	потери	
В инертной атмосфере								
0	0.5	0.5	15.3	5.0	20.3	78.4	0.3	100.0
5	1.5	0.7	16.6	5.5	22.1	75.5	0.2	100.0
10	2.7	0.9	33.3	7.8	41.1	54.8	0.5	100.0
14	4.3	2.5	40.7	8.0	48.7	44.2	0.3	100.0
20	4.3	2.1	26.7	8.1	34.8	58.3	0.5	100.0
50	4.3	1.9	19.6	8.5	28.1	65.2	0.5	100.0
100	4.2	1.7	16.7	8.9	25.6	68.2	0.2	100.0
При подаче воздуха ($w=0.2 \text{ ч}^{-1}$)								
0	0.8	0.6	17.0	6.7	23.7	74.5	0.4	100.0
5	2.2	0.9	19.6	8.3	27.9	68.7	0.3	100.0
10	4.1	2.4	37.9	10.9	48.8	44.4	0.3	100.0
14	5.4	3.4	51.1	15.6	66.7	34.2	0.3	100.0
20	4.7	2.1	38.9	13.2	52.1	40.8	0.3	100.0
50	4.8	1.7	26.8	11.8	38.6	54.5	0.4	100.0
100	4.9	1.9	21.9	10.1	32.0	61.2	0	100.0

Таблица 6

Выход продуктов крекинга фракции, выкипающей выше 350 °С, в 0.2%-ных суспензиях композитов с различным соотношением мангистауской глины и тайжузгенского цеолита

Содержание цеолита в композите мас. %	Выход продуктов крекинга, мас. %							Итого
	газ	бензин	легкий га- зойль 185– 340 °С	легкий га- зойль 185– 340 °С.	общее кол- во легкого газойля	тяжелый остаток	потери	
В инертной атмосфере								
0	0.1	0	0	0	0	99.5	0.4	100.0
5	0.1	0	0	0	0	99.6	0.3	100.0
10	0.1	0.1	2.5	12.9	15.4	83.9	0.5	100.0
14	0.2	0.3	2.7	14.8	17.5	81.3	0.7	100.0
20	0.1	0.1	1.5	7.8	9.3	90.3	0.4	100.0
50	0.1	0.1	0.5	2.6	3.1	96.3	0.4	100.0
100	0.1	0.1	0	0	0	99.5	0.3	100.0
При подаче воздуха ($w=0.2 \text{ ч}^{-1}$)								
0	0.1	0	0	0	0	99.6	0.3	100.0
5	0.2	0	0	0	0	99.3	0.5	100.0
10	0.2	0.3	4.1	20.5	24.6	74.6	0.3	100.0
14	0.3	0.5	6.9	35.4	42.3	56.3	0.5	100.0
20	0.2	0.3	2.6	13.3	15.9	83.3	0.3	100.0
50	0.2	0.2	2.3	11.8	14.1	85.0	0.5	100.0
100	0.1	0.1	1.3	6.6	7.9	91.6	0.3	100.0

Из табл. 5 и 6 следует, что введение в реакционную зону воздуха не влияет на выходы газа и бензиновой фракции, в то время, как выход легкого газойля на катализаторе оптимального состава увеличивается при крекинге мазута и его фракции, выкипающей при температуре выше 350 °С, соответственно на 18 и 24.8 % мас.

Как отмечалось выше, инициирование высокомолекулярных углеводородов кислородом за счет образования пероксидных радикалов ускоряет радикально-цепные реакции их деструкции, протекающие в ходе окислительного крекинга мазута на поверхности активного катализатора. Вероятно, крекинг входящей в состав мазута фракции легкого газойля идет по другому механизму ввиду отсутствия аналогичного эффекта

по влиянию воздуха на образование газа и бензиновой фракции.

Зависимость крекирующих свойств композитов от химического состава нарынкольской и мангистауской глин.

Для установления причин различия в активностях катализаторов из природных компонентов при крекинге мазута, содержащего в основном парафиновые углеводороды, методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа определен химический состав активированного тайжузгенского цеолита, нарынкольской и мангистауской глин, а также композитных катализаторов на их основе (табл. 7 и 8).

Из сопоставления данных табл. 7 и 8 видно, что мангистауская глина содержит намного

Таблица 7

Химический состав нарынкольской глины, активированного цеолита и катализаторов с различным соотношением этих компонентов

Химический состав	нарынкольская глина	14%-ный цеолитсодержащий композит	20%-ный цеолитсодержащий композит	активированный тайжузгенский цеолит
CaO	20.45	19.79	15.14	1.94
SiO ₂	37.95	39.98	47.28	68.02
Al ₂ O ₃	8.49	9.97	11.51	14.28
MgO	6.10	6.27	4.61	1.41
Fe ₂ O ₃	4.07	3.77	4.01	1.76
K ₂ O	1.91	2.29	3.16	4.47
Na ₂ O	1.10	<0.50	0.55	1.08
TiO ₂	0.44	0.23	0.45	0.29
P ₂ O ₅	0.11	0.13	0.11	0.03
MnO	0.09	0.15	0.11	0.06
потери при прокаливании	19.47	17.43	13.52	7.04
La	0	0.20	0.20	0.24
Итого	100.45	100.21	100.65	100.62

Таблица 8

Химический состав мангистауской глины, активированного цеолита и катализаторов с различным соотношением этих компонентов

Химический состав	мангистауская глина	14%-ный цеолитсодержащий композит	20%-ный цеолитсодержащий композит	активированный тайжузгенский цеолит
CaO	51.36	46.69	40.01	1.94
SiO ₂	4.25	10.28	19.57	68.02
Al ₂ O ₃	0.56	1.54	3.45	14.28
MgO	1.95	1.70	1.57	1.41
Fe ₂ O ₃	0.28	0.31	0.6	1.76
K ₂ O	0.13	0.52	1.08	4.47
Na ₂ O	0.45	0.48	0.43	1.08
TiO ₂	0.01	0.01	0.08	0.29
P ₂ O ₅	0.04	0.04	0.06	0.03
MnO	0	0	0	0.06
потери при прокаливании	40.95	38.40	33.14	7.04
La	0	0.05	0.13	0.24
Итого	99.88	100.02	100.12	100.62

больше оксида кальция, чем нарынкольская глина, поэтому в структуре оптимального 14%-ного цеолитсодержащего катализатора содержится очень большое количество катионов кальция.

Присутствие незкранированных катионов и вследствие этого возникновение заряда решетки создает в порах цеолитов сильные электростатические поля. По оценке Демпси, напряженность поля вблизи катионов Ca^{2+} в местах II цеолитной структуры составляет более, чем 4 эВ/А°. О значительном влиянии этих полей свидетельствует тот факт, что цеолит NaY, модифицированный катионами кальция,

намного активнее при крекинге н-гексана, чем аморфный алюмосиликат.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что для деструкции стабильных молекул парафинов необходима их дополнительная активация за счет электростатического воздействия катионов кальция, входящих в цеолитный каркас композита оптимального состава. Различие в концентрации катионов кальция в составе катализаторов с нарынкольской и мангистауской глинами влияет на их крекирующие свойства и объясняет значительно более высокую каталитическую активность композита на основе кальцитной мангистауской глины.

Литература

1. Каримова А.Р., Давлетшин А.Р., Хамзин Ю.А., Имашева М.У. Исследование влияния цеолитных катализаторов структуры ZSM+5 и FAU на качественный выход целевых продуктов при переработке прямогонных бензинов // Баш. хим. ж.— 2018.— Т.25, №4.— С.110-115.
2. Хайрутдинов О.И., Сидоров Г.М., Исламгулова Н.З. Исследование возможности расширения ресурсов сырья каталитического крекинга за счет вовлечения в процесс остаточных фракций тяжелых газовых конденсатов // Баш. хим. ж.— 2019.— Т.26, №2.— С.80-85.
3. Тараканов Г.В., Нурахмедова А.Ф., Попадин Н.В. О выборе рациональной технологии глубокой переработки газоконденсатного мазута // Вестник Астраханского государственного технического университета.— 2010.— №1(49).— С.37-42.

References

1. Karimova A.R., Davletshin A.R., Khamzin Yu.A., Imasheva M.U. *Issledovaniye vliyaniya tseolitnykh katalizatorov struktury ZSM+5 i FAU na kachestvennyy vykhod tselevykh produktov pri pererabotke pryamogonnykh benzinov* [Study of the effect of zeolite catalysts of the ZSM + 5 and FAU structure on the quality yield of target products in the processing of straight-run gasolines]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2018, vol.25, no.4, pp.110-115.
2. Khayrutdinov O.I., Sidorov G.M., Islamgulova N.Z. *Issledovaniye vozmozhnosti rasshireniya resursov syr'ya kataliticheskogo krekinga za schet vovlecheniya v protsess ostatochnykh fraktsiy tyazhelykh gazovykh kondensatov* [Investigation of the possibility of expanding the resources of catalytic cracking feedstock by involving residual fractions of heavy gas condensates in the process]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2019, vol.26, no.2, pp.80-85.
3. Tarakanov G.V., Nurakhmedova A.F., Popadin N.V. *O vybore ratsional'noy tekhnologii glubokoy pererabotki gazokondensatnogo mazuta* [On the selection of rational technology for the deep processing of gas condensate fuel oil]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University], 2010, no.1(49), pp.37-42.