

УДК 665.652

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ АЛКИЛИРОВАНИЯ ДИСТИЛЛЯТНОЙ ФРАКЦИИ ТУРБИННОГО МАСЛА ГАЗАМИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА

© 2019 г. Г. А. Гусейнова¹, *, Ф. И. Самедова¹, С. Ю. Рашидова¹, А. И. Гулиев¹,
Р. А. Джафарова¹, Б. М. Алиев¹, С. Ф. Ахмедбекова¹, У. Дж. Йолчиева¹

¹Институт нефтехимических процессов им. Ю.Г. Мамедалиева НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

*E-mail: Huseynovaga@mail.ru

Поступила в редакцию 15.02.2018 г.

После доработки 15.05.2018 г.

Принята к публикации 02.07.2019 г.

Методами ИК-, ПМР и УФ-спектроскопии определены основные физико-химические свойства и структурные параметры продуктов алкилирования дистиллятной фракции турбинного масла газами каталитического крекинга на цеолитных катализаторах Цеокар-600 и Омникат-210 П. Алкилирование проведено в интервале температур 50–150°C и соотношении масло : газы 1 : 1 и 1 : 2. Исследованы продукты реакции, полученные при оптимальных условиях, обеспечивающих максимальное повышение индекса вязкости масляной фракции с 32 до 75 и 53 соответственно на катализаторах Цеокар-600 и Омникат-210 П. Показано, что в процессе алкилирования повышаются кинематические вязкости и индексы вязкости масляной фракции. Это происходит за счет увеличения длины и количества алкильных заместителей ароматических углеводородов (УВ) посредством присоединения пропиленовых и бутиленовых звеньев олефиновых УВ газов каталитического крекинга.

Ключевые слова: дистиллятная фракция турбинного масла, газы каталитического крекинга, алкилирование, Цеокар-600, Омникат-210 П, индекс вязкости, ИК-, ПМР-, УФ-спектроскопия

DOI: 10.1134/S0028242119060078

По мере развития промышленности и транспортных средств непрерывно повышаются требования к качеству нефтяных масел. Это связано, в первую очередь, с повышением механических, температурных нагрузок в агрегатах современных механизмов, а также с увеличением сроков замены масел. В связи с этим все большее значение приобретают базовые масла, имеющие высокую стабильность, хорошую приемистость к пакетам многофункциональных присадок, хорошие вязкостно-температурные свойства.

Технологические процессы, используемые при производстве масел, существенно влияют на свойства получаемых продуктов. Базовые масла традиционных технологий получают из одного или смеси нескольких минеральных компонентов (дистиллятных, остаточных), прошедших обработку по классической схеме: селективная очистка (или экстракция растворителями) – депарафинизация растворителями, очистка адсорбентами.

Базовые масла более современных технологий получают из минеральных компонентов, прошедших стадии гидрообработки, а также путем частичного или полного замещения минеральных компонентов синтетическими.

Как известно, азербайджанские нефти богаты масляными фракциями и содержат мало серы. Масла, полученные из этих нефтей, обладают высокой стабильностью, но имеют невысокий индекс вязкости.

Одним из путей улучшения вязкостно-температурных свойств масляных фракций является процесс каталитического гидрокрекинга, применение которого исключает проведение процесса селективной очистки [1]. Однако этот процесс проводится при высоких давлениях до 15–20 МПа и температурах порядка 450–480°C в присутствии водорода. В зависимости от условий гидрокрекинга наряду с маслами получают бензины, реактивные и дизельные топлива.

Авторами [2] разработан ряд способов получения высокоиндексных масел с хорошими низкотемпературными свойствами с использованием гидрогенизационных процессов, сочетанием этих процессов и селективной очистки, а также каталитического алкилирования УВ масляных фракций олефинами. Все эти способы являются экологически чистыми, поскольку из технологии исключены процессы деасфальтизации, депарафинизации, селективной очистки избирательными раство-

Таблица 1. Состав исходных газов и газов после алкилирования дистиллята турбинного масла

Углеводороды	Состав газа, об. %			
	исходный	после алкилирования на Цеокар-600	исходный	после алкилирования на Омникат-210 П
Пропилен	40.84	2.04	17.68	1.06
Пропан	17.03	10.32	13.86	9.65
<i>изо</i> -Бутан	19.70	64.53	25.32	59.23
Бутен-1	8.99	3.84	15.48	5.36
<i>n</i> -Бутан	5.99	14.08	13.42	17.02
<i>транс</i> -Бутен-2	4.49	2.06	7.73	4.23
<i>цис</i> -Бутен-2	2.96	2.51	6.51	3.45
<i>изо</i> -Пентан	—	0.58	—	—
2,3-Диметилпентан	—	0.04	—	—
Σ Олефиновых углеводородов	57.28	10.45	47.40	14.10

рителями, а, следовательно, отсутствуют отходы их производства.

Нефтяное масло с индексом вязкости 95 получено [2, 3] на основе реакции алкилирования масляных фракций с индексом вязкости 70–75 этиленом или пропиленом в присутствии хлорида алюминия. Исследование структурно-группового состава УВ, выделенных из масла, показало, что нефтеновые УВ характеризуются малой циклическостью и содержат изопарафиновые фрагменты.

Основную роль в формировании вязкостных свойств играют ароматические и нефтеновые УВ и их алкилпроизводные, поскольку содержание парафиновых УВ нормального и изостроения в них невелико. Полициклические нефтеновые, ароматические и нефтено-ароматические УВ придают масляным фракциям высокую вязкость и ухудшают их вязкостные свойства [4]. Увеличение числа и длины боковых цепей у ароматических УВ не только увеличивает вязкость, но и улучшает вязкостно-температурные характеристики.

Целью настоящей работы являлось исследование физико-химических свойств и структурных параметров алкилатов, полученных в процессе алкилирования низкоиндексной дистиллятной масляной фракции сжиженными газами каталитического крекинга на цеолитсодержащих катализаторах.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве масляной фракции использовали дистиллятную фракцию турбинного масла Т-22 с индексом вязкости 32. Алкилирование проводили на катализаторах Цеокар-600 и Омникат-210 П на установке периодического действия с реактором объемом 250 мл в интервале температур 50–150°C и соотношении масло : газы 1 : 1 и 1 : 2 [5]. Сумма олефинов в составе газов каталитического крекинга составила при алкилировании на Цеокар-600 57.28 об. %, а на Омникат-210 П – 47.4 об. % (табл. 1). Анализ газов проведен на газовом хроматографе “AutoSystem XL” фирмы Perkin Elmer с использованием газа носителя гелия, пламенно-ионизационного детектора и капиллярной колонки 10 м × 2.5 м. В табл. 1 также приведен состав газов после алкилирования дистиллята турбинного масла на данных катализаторах при условиях, которые выбраны оптимальными, поскольку обеспечивают максимальное повышение индекса вязкости, т.е. условия, представленные в табл. 2. Как видно из табл. 1, катализатор Цеокар-600 показал лучшую активность, чем катализатор Омникат-210 П. После алкилирования на этом катализаторе сумма олефиновых УВ в составе газов составила 10.45 против 14.10 об. % на Омникат 210 П. В составе газов после алкилирования на обоих катализаторах значительно снизилось содержание пропилена.

Таблица 2. Физико-химические свойства алкилатов, полученных при оптимальных условиях алкилирования

Условия алкилирования			Физико-химические свойства					
$T, ^\circ\text{C}$	соотношение масло : газы	$P, \text{МПа}$	плотность при 20°C , кг/м^3	показатель прелом- ления	кинематическая вязкость ($\text{мм}^2/\text{с}$) при			индекс вязкости
					40°C	50°C	100°C	
Фракция дистиллятного турбинного масла			898.4	1.4926	27.82	20.59	4.38	32
Алкилат, полученный на Цеокар-600								
50	1 : 1	0.6	899.7	1.4948	30.90	19.70	4.95	75
Алкилат, полученный на Омникат-210 П								
100	1 : 1	0.6	902.0	1.4962	35.70	20.10	5.13	53

Основные физико-химические свойства полученных алкилатов, имеющих наилучшие показатели вязкостно-температурных свойств, в сравнении с исходной фракцией турбинного масла и условия алкилирования представлены в табл. 2. Значения кинематической вязкости определены по ГОСТ 33-2000. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости проведен в соответствии с ГОСТ 25371-97.

Данные образцы алкилатов в сравнении с исходным дистиллятом турбинного масла исследованы спектральными методами ИК-, ПМР- и УФ-спектроскопии (рис. 1–3).

ИК-спектры образцов регистрировали на ИК-Фурье спектрометре ALFA (фирма BRUKER, ФРГ) в диапазоне волновых чисел $600\text{--}4000 \text{ см}^{-1}$ на кристалле Se–Zn. На основании ИК-спектров исходной фракции турбинного масла и алкилатов

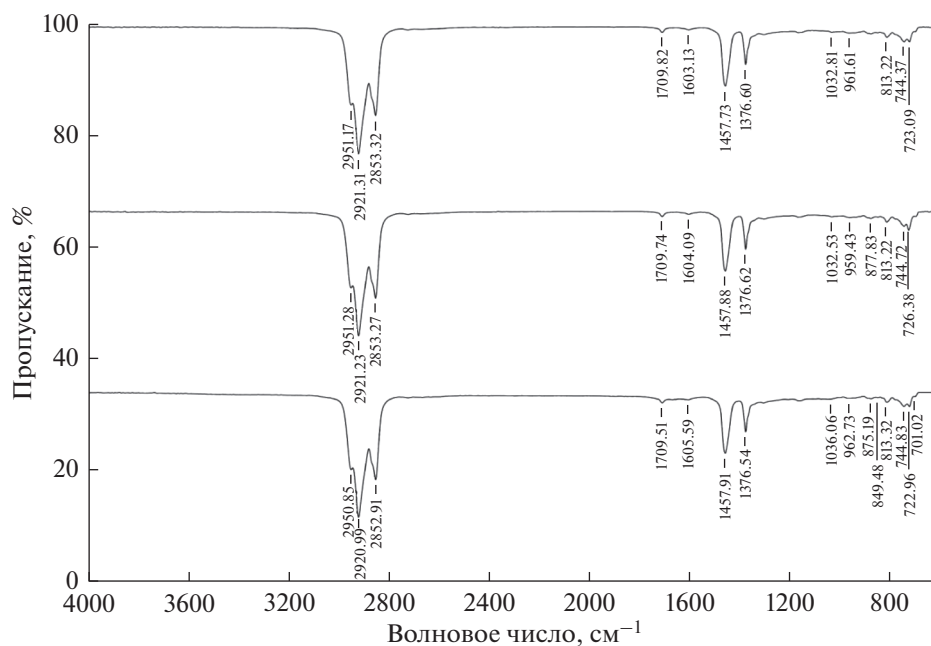


Рис. 1. ИК-спектры дистиллятной фракции турбинного масла (1), алкилатов (2) и (3), полученных на катализаторах Цеокар-600 и Омникат-210 П соответственно при температуре 50 и 100°C , соотношении масло : газы 1 : 1 и давлении 0.6 МПа.

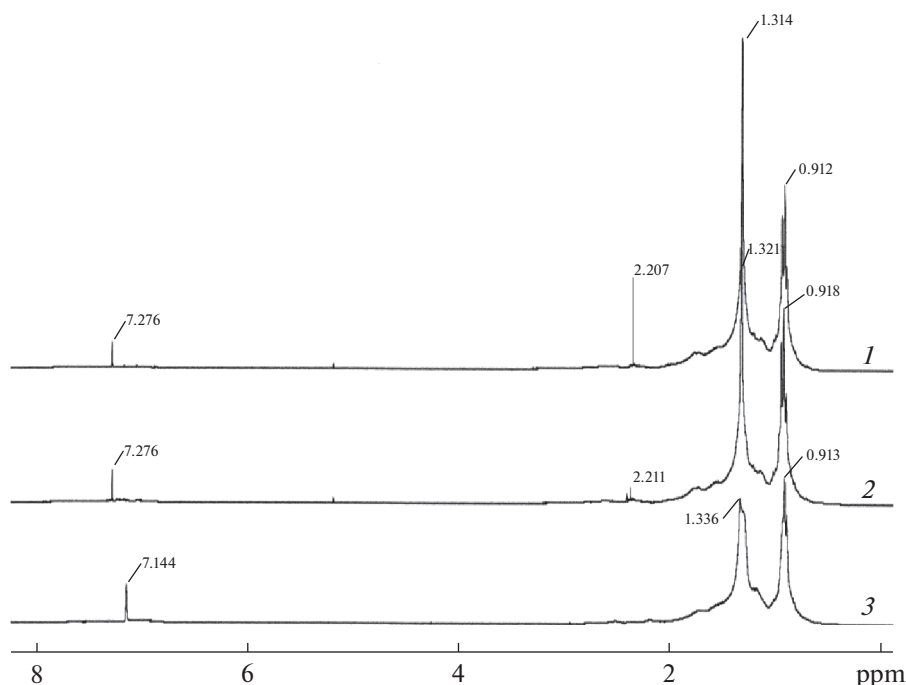


Рис. 2. ПМР-спектры дистиллятной фракции турбинного масла (1), алкилатов (2) и (3), полученных на катализаторах Цеокар-600 и Омникат-210 П соответственно при температуре 50 и 100°C, соотношении масло : газы 1 : 1 и давлении 0.6 МПа.

был рассчитан коэффициент относительной интенсивности метиленовых (CH_2 -) и метильных CH_3 -групп ($K = \text{CH}_2\text{-}/\text{CH}_3\text{-}$ или $K = D_{720}/D_{1380}$) в соответствии с оптическими плотностями полос поглощения 722–723 и 1376 см^{-1} , характеризующие маятниковые колебания C-H -связи в CH_2 - и деформационные колебания C-H -связи в CH_3 -

группах. Определена также степень разветвления – отношение ($\text{CH}_3\text{-}/\text{CH}_2\text{-}$), т.е. D_{1380}/D_{720} [6].

Спектры ПМР регистрировали на импульсном Фурье спектрометре фирмы BRUKER (ФРГ) при рабочей частоте 300.18 МГц в растворе дейтерированного хлороформа при комнатной температуре. Относительное содержание протонов различных структурных групп определяли интегрированием соответствующих полос резонансного поглощения:

$\text{H}_{\text{ар}}$ – незамещенные протоны в ароматических структурах, поглощающиеся в области химического сдвига 6.6–8.0 ppm;

H_{α} – протоны групп CH_3 - (2.1–2.8 ppm), CH_2 - и CH - (2.8–4.5 ppm), находящиеся в \langle -положении к ароматическому ядру;

$\text{H}_{\text{нафт}}$ – протоны CH - и CH_2 -групп (1.5–2.0 ppm) в нафтеновых циклах;

$\text{H}_{\text{параф}}$ – протоны групп CH_2 - (1.1–1.5 ppm) в парафиновых структурах и в алкильных цепях;

H_{γ} – протоны в концевых CH_3 -группах (0.6–1.1 ppm).

Площади пиков пропорциональны количеству протонов, дающих эти сигналы. Их определяли по значениям интегральной кривой спектра. Исходя из этого, распределение водорода по структурным признакам рассчитывали по отношению доли протонов определенной группы к суммарному содержанию протонов всех групп. Результа-

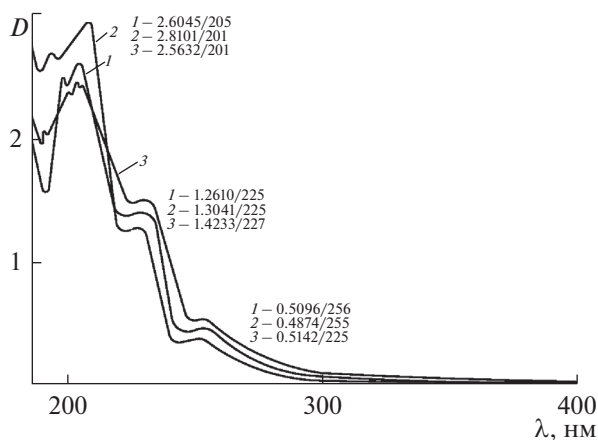


Рис. 3. УФ-спектры дистиллятной фракции турбинного масла (1), алкилатов (2) и (3), полученных на катализаторах Цеокар-600 и Омникат-210 П соответственно при температуре 50 и 100°C, соотношении масло : газы 1 : 1 и давлении 0.6 МПа.

Таблица 3. Структурные параметры, определенные на основании ПМР-спектров, дистиллята турбинного масла и алкилатов, полученных при оптимальных условиях

Образцы масел и условия алкилирования	Распределение атомов водорода (протонов) в различных структурных группах, %					Степень ароматичности	Изопарафиновый индекс
	$H_{ар}$	H_{α}	$H_{нафтен}$	$H_{парафин}$	H_{γ}		
Дистиллят турбинного масла	2.1	5.0	14.1	48.1	30.7	0.12	0.42
Алкилат (Цеокар-600)	2.9	4.5	13.1	47.5	32.0	0.17	0.45
Алкилат (Омникат-210 П)	2.5	4.5	14.1	46.3	32.6	0.12	0.47

Таблица 4. Содержание ароматических углеводородов, определенных на основании УФ-спектров

Образцы масел	Индекс вязкости	Молекулярная масса	Содержание ароматических УВ, содержащих структурные фрагменты, %			
			бензола	нафталина	фенантрена	общая ароматика
Дистиллят турбинного масла	32	313	11.0	2.1	1.7	14.8
Алкилат (Цеокар-600)	75	317	14.0	2.3	1.3	17.6
Алкилат (Омникат-210)	53	323	10.0	3.0	1.7	14.7

ты расчета по содержанию протонов, а также степень ароматичности и изопарафиновый индекс приведены в табл. 3.

УФ-спектры регистрировали на спектрофотометре Perkin Elmer, модель 402 в области 200–400 нм. На основании УФ-спектров (рис. 3) и значений молекулярной массы определено содержание ароматических УВ в составе дистиллятной фракции турбинного масла и алкилатов, полученных на катализаторах Цеокар-600 и Омникат-210 П. Результаты расчета представлены в табл. 4. Содержание ароматических УВ, содержащих бензольные, нафталиновые и фенантреновые структуры, рассчитывали по методике [7]. Согласно методике определены коэффициенты структурных групп ароматических УВ с бензольными, нафталиновыми и фенантреновыми фрагментами с учетом концентрации раствора продукта в изоктане. Содержание данных структур рассчитано на основании этих данных и молекулярных масс соответствующих ароматических УВ и исследуемых продуктов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование состава газов каталитического крекинга до и после алкилирования дистиллятной фракции турбинного масла (табл. 1) позволило определить, что пропилен является наиболее реакционноспособным олефином, бутен-1 в гораздо меньшей степени. То есть в данном процессе пропилен оказался наилучшим алкилирующим агентом, конверсия которого была выше по сравнению с другими олефинами. Как видно из результатов, представленных в табл. 2, кинематические вязкости и плотности алкилатов выше, чем у исходной фракции турбинного масла. Причем эти показатели выше у алкилата, полученного с использованием катализатора Омникат-210 П. Видимо увеличение вязкости у этого алкилата произошло за счет прохождения реакций изомеризации как парафиновых УВ, так и алкильных заместителей ароматических и нафтеновых УВ. То есть образование более разветвленных УВ приводит к более объемным структурам и как следствие к повышению вязкости алкилатов. В

процессе алкилирования на катализаторе Цеокар-600 в меньшей степени происходит изомеризация этих УВ, поэтому вязкости повышаются в меньшей степени, но при этом индекс вязкости у полученных алкилатов выше, чем у исходного масла.

В ИК-спектре образца дистиллята турбинного масла (рис. 1, спектр 1) наблюдали следующие полосы поглощения:

- маятниковых (723 см^{-1}) колебаний С–Н-связи в CH_2 -группе,
- деформационных (1457 см^{-1}) и валентных колебаний ($2921, 2951\text{ см}^{-1}$) С–Н-связи CH_2 -групп,
- деформационных (1376 см^{-1}) и валентных (2853 см^{-1}) колебаний С–Н-связи CH_3 -групп,
- деформационных ($961, 1032\text{ см}^{-1}$) колебаний С–Н-связи CH_2 -групп нафтенов,
- валентных (1603 см^{-1}) колебаний С–Н-связи бензольного кольца.

Кроме того, в спектре имеется полоса поглощения слабой интенсивности (1709 см^{-1}), соответствующая кислородсодержащей группе С=О.

ИК-спектры образцов алкилатов практически идентичны с ИК-спектром исходного дистиллята турбинного масла. Во всех ИК-спектрах отсутствуют полосы поглощения, характерные для С=С-связи олефинов. Для масел из бакинских нефтей характерно отсутствие олефиновых УВ.

На основании ИК-спектров вычислены коэффициенты относительной интенсивности метиленовых (CH_2 -) и метильных CH_3 -групп. У алкилата, полученного на Цеокар-600, этот показатель увеличился до 0.48 против 0.38. При этом отмечено увеличение индекса вязкости обрабатываемого масла. Это связано с увеличением алкильной цепочки ароматических углеводородов за счет присоединения пропиленовых и бутиленовых фрагментов к алкильным заместителям или формированием на их основе новых алкильных заместителей у ароматических структур. Вместе с тем, у данного алкилата наблюдается практически такая же степень разветвления как и у исходного дистиллята. При этом условное содержание парафиновых УВ незначительно снижается у алкилатов, полученных как на катализаторе Цеокар-600, так и на Омникат-210 П. Степень ароматичности алкилата турбинного масла, полученного на Цеокар-600 увеличивается по сравнению с исходным маслом.

Из приведенных в табл. 3 данных видно, что алкилаты дистиллята турбинного масла, полученные на катализаторах Цеокар-600 и Омникат 210 П, характеризуются увеличением содержания протонов ароматических структур. Кроме того, уменьшается доля протонов в CH -, CH_2 -, CH_3 -группах

алкильных заместителей, расположенных в α -положении к ароматическому ядру. При этом доля протонов метильных групп CH_3 -, удаленных от ароматического ядра увеличивается. Это можно объяснить увеличением длины алкильного заместителя, т.е. присоединением к ним пропиленовых и бутиленовых структур в процессе алкилирования. Возможно также образование новых ароматических структур с алкильными заместителями, поскольку доля незамещенных протонов ароматических ядер и степень ароматичности увеличиваются для алкилата, полученного на Цеокар-600. При этом возможен разрыв кольца полициклических ароматических УВ с образованием моно- или бициклических алкилароматических структур. Изопарафиновый индекс у алкилатов повышается, что связано с более высоким содержанием CH_3 -групп в алкильных заместителях ароматических УВ. Причем это относится в большей степени к алкилату, полученному на Омникат-210 П. ПМР-спектр алкилата (рис. 2, спектр 3), полученного на этом катализаторе, отличается от спектров (рис. 2, спектры 1 и 2) именно соотношением полос поглощения с химическим сдвигом 1.336 и 0.913, соответствующих протонам CH_2 - и CH_3 -групп. Это указывает на различие алкилатов в количестве изопарафиновых структур. Изопарафиновый индекс этого алкилата, полученного на катализаторе Омникат-210 П, выше по сравнению с алкилатом, полученным на Цеокар-600 и исходным дистиллятом турбинного масла, что видно из данных табл. 3. Кроме того, количество протонов парафиновых УВ уменьшается.

Данные ПМР- коррелируются с данными ИК-спектрометрии в отношении увеличения изопарафиновых структур в составе алкилата, полученного на катализаторе Омникат-210 П.

Как видно из данных табл. 4, по сравнению с исходной фракцией турбинного масла у алкилатов увеличилась молекулярная масса. Содержание общей ароматики увеличилось только у алкилата, полученного на катализаторе Цеокар-600. При этом содержание фенантеновых структур уменьшилось, а нафталиновых и бензольных увеличилось. Видимо за счет образования ароматических УВ с более длинными алкильными заместителями и уменьшения содержания фенантеновых структур произошло увеличение индекса вязкости масляной фракции до 75. У алкилата, полученного на катализаторе Омникат-210 П, содержание общей ароматики и УВ с фенантеновыми структурами осталось на том же уровне, а содержание УВ с нафталиновыми структурами увеличилось. Видимо у этого алкилата произошло алкилирование по алкильным заместителям ароматических УВ в меньшей степени. Поэтому индекс вязкости увеличился незначительно (до 53).

Данные по содержанию ароматических УВ, полученные на основании электронных спектров (УФ), совпадают с данными ПМР-спектроскопии.

С учетом вышесказанного можно выделить основные реакции, протекающие в процессе алкилирования: алкилирование ароматических и нафтеновых УВ, а также алкильных заместителей, пропиленом и бутиленами газов каталитического крекинга, изомеризация парафиновых УВ и алкильных цепочек ароматических структур, деструкция полициклических ароматических УВ и перераспределение водорода.

На основании проведенных исследований можно сказать, что при алкилировании дистиллятной фракции турбинного масла сжиженными газами каталитического крекинга УВ масел претерпевают определенные изменения, зависящие от катализатора и условий процесса (в основном температуры и соотношения масло : газы).

Основное влияние на уровень вязкости и вязкостно-температурные свойства масел оказывают циклические УВ и их алкилпроизводные. Это положение было впервые сформулировано еще Л.Г. Гурвичем [8]. Циклические УВ имеют значительно большую вязкость, чем парафиновые. Вязкость выше у нафтеновых УВ, чем у ароматических такой же структуры. В общем случае, чем больше колец в структуре молекулы и чем длиннее и разветвленнее боковые цепи, тем выше вязкость циклических УВ. Вязкость парафиновых УВ меньше вязкости изопарафинов с одинаковым количеством атомов углерода. Изопарафиновые УВ наряду с высоким индексом вязкости обладают низкой температурой застывания, поэтому являются весьма желательными компонентами масел.

Известно [9], что от структурных особенностей нафтеновых и ароматических УВ зависят физико-химические и ряд эксплуатационных свойств масел. Так, чем больше атомов углерода в боковых цепях, тем выше вязкость и индекс вязкости. При одном и том же числе атомов углерода в боковой цепи с увеличением ее разветвленности температура застывания нафтеновых и ароматических УВ понижается. Ароматические УВ с высоким индексом вязкости состоят из алкилбензолов с длинными боковыми цепями. Высоким индексом обладают также ароматические УВ, представляющие собой полизамещенные производные бензола, содержащие 1–2 длинные и несколько коротких цепей. Меньший индекс вязкости имеют гибридные УВ, такие как нафено-ароматические, в которых бензольное кольцо сконденсировано с одним или двумя нафтеновыми.

Поэтому содержание изопарафиновых, нафено-парафиновых, моно- и бициклических ароматических УВ с длинными боковыми цепями обес-

печивает хорошие вязкостно-температурные свойства в широком диапазоне температур и хорошую стабильность в процессе эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали спектральные исследования ИК, ЯМР и УФ-методами в ароматических и нафтеновых УВ масляной фракции изменяется строение молекул, касающееся структуры и числа боковых цепей, а также количество ароматических УВ с бензольными, нафталиновыми и фенентреновыми структурами. При алкилировании происходит удлинение боковых цепочек и создание новых за счет присоединения пропиленовых и бутиленовых звеньев, что влияет на степень разветвления УВ и, в итоге, на вязкость алкилатов. Уменьшение доли незамещенных ароматических УВ, а также увеличение доли алкилзамещенных ароматических УВ с длинными боковыми заместителями приводит к улучшению вязкостно-температурных свойств масляных фракций и повышению вязкости. На основании данных хроматографического анализа газов каталитического крекинга до и после реакции алкилирования определено, что основным реакционноспособным компонентом из олефиновых УВ газов каталитического крекинга является пропилен, в меньшей степени бутилен.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гусейнова Галина Анатольевна, д.т.н., г.н.с., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2542-980X>

Самедова Фазила Ибрагимовна, д.т.н., профессор, чл.-корр. Национальной Академии наук Азербайджана и РАЕН, г.н.с., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5247-2294>

Рашидова Санубар Юсиф кызы, к.т.н., доцент, в.н.с., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8080-4409>

Гулиев Анар Иса оглы, аспирант, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8518-0319>

Джафарова Рена Алекбер кызы, д.х.н., профессор, зав. лабораторией, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9905-1478>

Алиев Бакир Мехбалы оглы, к.х.н., с.н.с., в.н.с., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9192-3262>

Ахмедбекова Саида Фуад кызы, к.х.н., в.н.с., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1672-6394>

Йолчиева Ульвия Джейхун кызы, к.х.н., н.с., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1736-4738>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Цветков О.Н.* // Мир нефтепродуктов. 2011. № 4. С. 3.
2. *Самедова Ф.И., Гасанова Р.З.* Нетрадиционные способы получения нефтяных масел. Баку: ЭЛМ, 1999, 100 с.
3. *Самедова Ф.И., Гасанова Р.З., Шахгусейнова Т.Т.* // Химия и технология топлив и масел. 1991. № 11. С. 3.
4. *Самедова Ф.И., Касумова А.М.* Технология получения низкозастывающих масел. Баку: ЭЛМ, 2010. 264 с.
5. *Самедова Ф.И., Гусейнова Г.А., Рашидова С.Ю., Гулиев А.И., Гаджиева И.А., Кафарова Н.Ф.* // Мир нефтепродуктов. 2016. № 1. С. 18.
6. *Сваровская Л.И., Филатова Д.А., Гэрэлмаа Т., Алтунина Л.К.* // Нефтехимия. 2009. № 2. С. 153.
7. *Ботнева Т.А., Ильина А.А., Терской Я.А. и др.* Методическое руководство по люминесцентно-битуминологическим и спектральным методам исследования органического вещества пород и нефтей. М.: "Недра", 1979. С. 87.
8. *Гурвич Л.Г.* Научные основы переработки нефти. 3-е изд. М.: Гостоптехиздат, 1940. 544 с.
9. *Казакова Л.П., Крейн С.Э.* Физико-химические основы производства нефтяных масел. М.: Химия, 1978. 320 с.