

И. А. Мустафин (к.т.н., доц.)¹, А. Ф. Ахметов (д.т.н., проф., зав.каф.)¹,
М. Ф. Абдуллин (к.х.н., н.с.)², А. Р. Ханов (асп.)¹, Р. Н. Галиахметов (д.т.н, проф.)³

ГАЗОХРОМАТОМАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ ГИДРОКОНВЕРСИИ ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ В ПРИСУТСТВИИ 2-ЭТИЛГЕКСАНОАТА ЦИНКА

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет, кафедра технологии нефти и газа
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: iamustafin@gmail.com

² Уфимский институт химии УФИЦ РАН, лаборатория физико-химических методов анализа
450054, г. Уфа, пр. Октября, 69; e-mail: elmolek@anrb.ru

³ Башкирский государственный университет, кафедра управления качеством
450076, г. Уфа, ул. З. Валиди, 32; e-mail: rail007@mail.ru

I. A. Mustafin¹, A. F. Akhmetov¹, M. F. Abdullin², A. R. Khanov¹, R. N. Galiakhmetov³

GAS CHROMATOGRAPHY MASS SPECTROMETRY ANALYSIS OF HYDROCONVERSION PRODUCTS OF VACUUM GASOIL IN THE PRESENCE OF ZINC 2-ETHYLHEXANOATE

¹ Ufa State Petroleum Technological University
1, Kosmonavtov Str., 450064, Ufa, Russia; e-mail: iamustafin@gmail.com

² Ufa Institute of Chemistry UFRS RAS
69, Oktyabrya Ave., 450054, Ufa, Russia; e-mail: elmolek@anrb.ru

³ Bashkir State University
32, st. Z. Validi, 450076, Ufa, Russia; e-mail: rail007@mail.ru

Проведен процесс гидроконверсии вакуумного газойля при температуре 425 °С с использованием 2-этилгексаноата цинка в качестве прекурсора нанокатализатора с получением дистиллята. Методом газовой хроматомасс-спектрометрии с ионизацией электронами изучен структурно-групповой состав продуктов гидрокрекинга вакуумного газойля. Изучена эффективность катализатора путем сравнения составов продуктов крекинга и исходного сырья, а также по степени изомеризации.

Ключевые слова: вакуумный газойль; газовая хроматомасс-спектрометрия; гидрокрекинг; нанокатализаторы; прекурсор; структурно-групповой состав; термический крекинг; 2-этилгексаноат цинка.

A vacuum gas oil hydroconversion process was carried out at a temperature of 425 °C using zinc 2-ethylhexanoate as a nanocatalyst precursor to obtain a distillate. The structure-group composition of the hydrocracking products of vacuum gas oil has been studied by gas chromatography-mass spectrometry with electron ionization. The efficiency of the catalyst was studied by comparing the compositions of cracking products and feedstock, as well as by the degree of isomerization.

Key words: gas chromatography-mass spectrometry; hydrocracking; nanocatalysts; precursor; structural group composition; thermal cracking; vacuum gas oil; Zinc 2-ethylhexanoate.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90171.

The reported study was funded by RFBR, project No. 20-38-90171.

Дата поступления 25.09.21

Наиболее распространенными в процессах углубленной переработки нефти (каталитический крекинг, гидрокрекинг) являются гетерогенные катализаторы. Однако переработка тяжелого нефтяного сырья с высоким содержанием различных гетероатомных металлоорганических соединений и асфальтенов с использованием традиционных гетерогенных катализаторов затруднена из-за их быстрого отравления¹. Поэтому актуальным является поиск новых каталитических систем, устойчивых к каталитическим ядам. Высокую эффективность при переработке тяжелого нефтяного сырья показывают нанокатализаторы².

Ранее нами было обнаружено, что при термическом воздействии на тяжелые нефтяные остатки и тяжелые нефти, которые содержат маслорастворимые органические соли металлов, образуются наноразмерные суспензии частиц металлов^{3–5}. Так, при термическом воздействии до 300 °С на мазут западносибирской нефти, содержащий 2-этилгексаноат никеля, установлено образование наночастиц с размером порядка 80 нм⁵. При кипячении вакуумного газойля, содержащего 2-этилгексаноат никеля, наблюдается образование ультрадисперсного коллоидного раствора со средним размером частиц порядка 10 нм. Ранее также было установлено, что эффективным катализатором тяжелых компонентов нефти является 2-этилгексаноат цинка (2-ЭГЦ)⁶.

Следует отметить, что до настоящего исследования в литературе не было данных использования указанных органических солей никеля, цинка и других металлов в процессах гидрокрекинга. Поэтому целью данной работы является изучение гидроконверсии вакуумного газойля в присутствии 2-этилгексаноата цинка.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследований был выбран вакуумный газойль, полученный разгонкой под вакуумом мазута западносибирской нефти на лабораторном аппарате АРН-2 (ГОСТ 11011-64). Физико-химические свойства исследуемого вакуумного газойля приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели качества вакуумного газойля

Наименование показателя	Значение
Плотность при 15 °С, кг/м ³	927.1
Вязкость кинематическая при 50 °С, мм ² /с	76.0
Массовая доля серы, %	2.0
Температура текучести, °С	47
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	230
Коксуемость, %	0.52

Металлсодержащей добавкой являлся раствор 2-этилгексаноата цинка в бензоле, который был получен по методике, описанной в патенте⁷. Физико-химические свойства 2-этилгексаноата никеля приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические свойства 2-этилгексаноата цинка

Наименование показателя	Значение
Агрегатное состояние	Жидкость
Молекулярная масса	351.8
Плотность при 15 °С, кг/м ³	1070
Показатель преломления	1.5280

Результаты и их обсуждение

Изучена конверсия вакуумного газойля в атмосфере водорода. Установлено, что проведение гидроконверсии при температуре 425 °С с использованием в качестве катализатора 2-этилгексаноата цинка дает 70.1% дистиллята. Показано, что влияние давления водорода в реакторе сказывается не столь значительно.

Определение структурно-группового состава продуктов гидрокрекинга вакуумного газойля

Для оценки эффективности цинкового катализатора в процессах гидрокрекинга вакуумного газойля (ВГ) нами с использованием метода газовой хроматографии с масс-спектрометрией (ГХМС) был изучен структурно-групповой состав образцов дистиллятов, содержащих продукты термического (образец ВГ+Н₂) и каталитического (образец ВГ+Н₂+Zn) гидрокрекинга, а также термического крекинга (образец ВГ) вакуумного газойля. Результаты анализа структурно-группового состава дистиллятов представлены в табл. 3.

Содержание алканов в составе образцов ВГ+Н₂ и ВГ+Н₂+Zn соответственно в 5 и 2.3 раза ниже содержания алканов в продуктах термического крекинга ВГ. При этом углеводороды данного класса представлены соединениями с числом атомов углерода от 8 до 25, 24 и 23 соответственно для образцов ВГ+Н₂ и ВГ+Н₂+Zn и ВГ с преобладанием С₂₀–С₂₃ соединений в первом случае, С₁₁–С₁₈- и С₂₀–С₂₃-соединений во втором случае и С₈–С₁₉-соединений в случае образца ВГ. Содержание С₁₁–С₁₈-алканов в составе образцов ВГ+Н₂ и ВГ+Н₂+Zn по сравнению с образцом ВГ значительно уменьшается, особенно в первом случае. Следует отметить, что величина степени изомеризации алканов, представляющая собой отношение количества изомеризованных (разветвленных) соединений к количеству углеводородов линейного

Содержание и степень изомеризации углеводородов в продуктах термического гидрокрекинга ВГ (ВГ+Н₂) и каталитического гидрокрекинга ВГ в присутствии Zn (ВГ+Н₂+Zn), термического крекинга ВГ без катализатора и в присутствии наночастиц цинка (ВГ+Zn)

Соединения (классы)	Содержание в образце, %; (степень изомеризации)			
	ВГ+Н ₂	ВГ+Н ₂ +Zn	ВГ	ВГ+Zn
Алканы	10.27 (0.18)	22.53 (0.41)	52.16 (0.53)	47 (0.54)
Алкены	0.08 (-)	0.87 (1.53)	24.19 (0.65)	16.9 (0.28)
Циклоалканы	0.02 (0)	0.04 (0.76)	3.36 (0.33)	2.5 (0.14)
Алкилбензолы	5.57 (4.68)	8.04 (5.36)	11.33 (1.01)	15 (5.74)
Алкенилбензолы	1.76 (1.85)	2.28 (2.03)	0.76 (1.71)	2.3 (12.59)
Алкилинданы и алкилтетралины	4.86 (0.11)	6.90 (0.16)	2.51 (0.13)	8.7 (0.07)
Алкил- и алкилбензотиофены	10.06 (0.02)	5.13 (0.003)	1.73 (0.23)	1.4 (0.11)
Алкилнафталины	15.92 (0.92)	15.42 (0.73)	0.98 (0.69)	1.6 (0)
Алкилфлуорены	3.68 (0)	1.69 (0)		
Алкилбифенилы	7.8 (1.26)	6.81 (0.36)		
Алкилполифенилы	4.82 (0)	1.19 (0.02)		
Полиароматические углеводороды	35.15 (0.23)	28.68 (0.15)		
Алкадиены			0.27 (-)	0.3(2.6)
Циклоалкены			2.32 (1.86)	1.48 (0.34)
Бициклоалканы			0.25 (0)	0.12 (0)
Прочие	0.01	0.42	0.14	2.7
Итого	100	100	100	100

строения, составляет 0.18, 0.41 и 0.53 соответственно для рассматриваемых образцов.

Как и следует ожидать, содержание алкенов в составе образцов ВГ+Н₂ и ВГ+Н₂+Zn существенно ниже (в 300 и 27.8 раза) по сравнению с образцом ВГ (табл. 3). При этом в первом случае алкены представлены только 8-метил-2-ундеценом, а во втором случае — только С₈- и С₁₂-соединениями, чья величина степени изомеризации составляет 1.53, то есть преобладают изомеризованные углеводороды. Тогда как в случае образца ВГ степени изомеризации алкенов равна 0.65, то есть соединения линейного строения значительно преобладают. Причем по числу атомов углерода алкены в образце ВГ представлены С₈—С₁₉-соединениями с преобладанием С₈—С₁₅- соединений.

Аналогично алкенам, в случае циклоалканов их содержание в образцах ВГ+Н₂ и ВГ+Н₂+Zn значительно уменьшается по сравнению с образцом ВГ (в 168 и 84 раз). В первом случае в составе образца наряду с С₁₀—С₁₁-соединениями появляется С₁₂-соединение, отсутствующее в составе ВГ. Во втором случае циклоалканы представлены С₈—С₉-соединениями, преобладающими в составе образца ВГ, который в свою очередь содержит С₈—С₁₁-циклоалканы. При этом степень изомеризации циклоалканов для каждого из образцов составляет 0, 1.53 и 0.65 (для циклических соединений за изомеризованные нами были приняты углеводороды с разветвленным (стерически объемным) боковым заместителем, а также соединения с числом боковых (при кольце) заместителей больше двух).

Содержание алкилбензолов в образцах ВГ+Н₂ и ВГ+Н₂+Zn уменьшается по сравнению с ВГ в 2 и 1.4 раза соответственно. Стоит отметить, что при этом в обоих случаях значительно уменьшается количество С₈—С₉-соединений, а содержание С₁₀-соединений понижается в 2.1 и 1.6 раза и наоборот количество С₁₁-алкилбензолов возрастает в 1.6 и 2 раза соответственно (табл. 3). Кроме того, в обоих случаях появляются С₁₂- и С₁₄-соединения, отсутствующие в образце ВГ. Степень изомеризации по сравнению с образцом ВГ возрастает соответственно в 4.6 и 5.3 раза.

Незначительное содержание алкенилбензолов в образце ВГ (0.76%, табл. 3) в случае образцов ВГ+Н₂ и ВГ+Н₂+Zn возрастает в 2.3 и 3 раза, при этом степень изомеризации возрастает всего в 1,1 и 1.2 раза, то есть практически не меняется. Примечательно также, что углеводородный состав относительно числа С-атомов в молекуле не меняется (присутствуют С₉—С₁₂-соединения), но наблюдается увеличение содержания С₁₀—С₁₂-алкенилбензолов в 3 и 4 раза (для С₁₀-соединений), в 2.7 и 3.4 раза (для С₁₁-соединений) и в 2 и 3 раза (для С₁₂-углеводородов) соответственно для образцов ВГ+Н₂ и ВГ+Н₂+Zn.

Как и в случае алкенилбензолов, содержание алкилинданов и алкилтетралинов в образцах ВГ+Н₂ и ВГ+Н₂+Zn увеличивается по сравнению с образцом ВГ (в 1.9 и 2.7 раза, табл. 3), причем степень изомеризации, составляющая 0.13 в образце ВГ, в обоих случаях мало изменяется (в 0.8 и 1.2 раза). В зависимости от числа атомов углерода содержание

алкилинданов и тетралинов в обоих образцах возрастает в случае C_{10} -соединений в 2.2 и 2.3 раза, для C_{11} -соединений — в 1.5 и 2.1 раза, C_{12} -углеводородов — в 6.2 и 10.5 раза. Кроме того, в образцах дистиллятов гидрокрекинга также присутствуют C_{13} -соединения, содержащиеся в ВГ, и в свою очередь отсутствуют C_{15} -соединения.

Общее содержание алкил- и алкибензотиофенов в образцах ВГ+ H_2 и ВГ+ H_2 +Zn по сравнению с ВГ возрастает в 5.8 и 3 раза (табл. 3). При этом в составе указанных образцов отсутствуют C_6 – C_7 - и появляются C_{12} – C_{16} -соединения (последние, как и C_8 -тиофены, не наблюдаются в составе ВГ), среди которых преобладают C_{13} – C_{15} -углеводороды. Однако степень изомеризации алкил- и алкилбензотиофенов в результате гидрокрекинга сильно уменьшается (в 11.5 раз в случае образца ВГ+ H_2 и в 76.7 раза в случае ВГ+ H_2 +Zn по сравнению с ВГ, величина степени изомеризации тиофенов которого составляет всего 0.23).

Количество алкилнафталинов в образцах ВГ+ H_2 и ВГ+ H_2 +Zn по сравнению с образцом ВГ возрастает примерно в одинаково степени (в 16.2 и 15.7 раза соответственно, табл. 3). При этом появляются новые, C_{14} – C_{18} -, соединения, отсутствующие в составе ВГ (общим для всех трех образцов является присутствие C_{10} – C_{13} -алкилнафталинов, а C_{15} – C_{16} -соединения отсутствуют также в образце ВГ+ H_2 +Zn). Следует также отметить, что в образцах ВГ+ H_2 и ВГ+ H_2 +Zn содержание C_{10} -, C_{11} -, C_{12} -, C_{13} -алкилнафталинов увеличивается соответственно в 5.5 и 5.8, 13.7 и 15.5, 18.7 и 21.8, 11.3 и 12.5 раза, содержание C_{14} -соединений составляет 2.36 и 1.18 % от всех соединений в образце. Величина степени изомеризации алкилнафталинов возрастает незначительно (в 1.3 и 1.06 раза в случае образцов ВГ+ H_2 и ВГ+ H_2 +Zn, достигая значений 0.92 и 0.73, табл. 3).

Среди приведенных в табл. 3 классов органических соединений алкадиены, циклоалкены и бициклоалканы присутствуют только в составе образца термического крекинга газойля ВГ, а алкилфлуорены, алкилбифенилы, алкилполифенилы и полиароматические углеводороды содержатся лишь в образцах продуктов гидрокрекинга газойля ВГ+ H_2 и ВГ+ H_2 +Zn.

Содержание алкилфлуоренов в образце ВГ+ H_2 в 2.2 раза превышает их содержание в ВГ+ H_2 +Zn (табл. 3). Данный класс соединений представлен углеводородами с числом атомов углерода от 14 до 18, причем C_{14} -флуорены содержатся только в образце ВГ+ H_2 , составляя более 20% от всего количества алкилфлуоренов. C_{15} -Алкилфлуорены в составе

образца ВГ+ H_2 +Zn составляют 79% от всех соединений данного класса и их содержание меньше содержания C_{15} -соединений в образце ВГ+ H_2 в 1.25 раза (1.68% от всех соединений в образце). Количество алкилфлуоренов с числом С-атомов, равным 16 и 17, в образце ВГ+ H_2 +Zn понижается по сравнению с ВГ+ H_2 соответственно в 1.9 и 8.2 раза, содержание C_{18} -соединений, наоборот, возрастает в 4.5 раза, достигая 5.3% от всех алкилфлуоренов в образце. Величина степени изомеризации алкилфлуоренов в обоих образцах равна нулю.

Состав алкилбифенилов в образцах ВГ+ H_2 и ВГ+ H_2 +Zn включает в себя C_{12} – C_{16} -соединения, причем C_{12} -бифенилы содержатся только в образце ВГ+ H_2 в незначительном количестве (0,04%). Содержание C_{13} - и C_{14} -соединений в составе ВГ+ H_2 +Zn возрастает по сравнению с ВГ+ H_2 в 1.85 и 1.1 раза до значений 1.52 и 2.86 %, а содержание C_{15} – C_{16} -бифенилов уменьшается в 2.2 и 1.4 раза до значений 1.47 и 0.96 %. Общее содержание алкилбифенилов в составе образца ВГ+ H_2 +Zn по сравнению с ВГ+ H_2 меньше в 1.14 раза и составляет 6.81% (табл. 3), а степень изомеризации меньше в 3.5 раза и равна 0.36.

Алкилполифенилы, как и бифенилы содержат по два ароматических кольца, которые в отличие от бифенилов разделены углеводородным фрагментом. Типичные представители полифенилов — α -метилстильбен, n -этилдифенилметан, 4,4'-дитолилметан и др. Их содержание в образце ВГ+ H_2 в 4 раза превышает содержание полифенилов в ВГ+ H_2 +Zn и составляет 4.82% (табл. 3) вследствие того, что в составе ВГ+ H_2 количество C_{15} - и C_{16} -соединений в 3.4 и 4.9 раза больше по сравнению с ВГ+ H_2 +Zn. Кроме того, C_{14} -полифенилы содержатся только в первом из образцов, составляя 0.4% от алкилполифенилов в этом образце (0.02% от всех соединений). Значение степени изомеризации алкилполифенилов образцов ВГ+ H_2 и ВГ+ H_2 +Zn равно 0 и 0.02.

Полиароматические углеводороды по содержанию преобладают в составе образцов ВГ+ H_2 и ВГ+ H_2 +Zn, составляя 35.15 и 26.68 % (табл. 3) от всех соединений, и представлены производными фенантрена, антрацена, пирена и трифенилена с числом атомов углерода от 14 до 19. При этом C_{19} -соединения в количестве 0.03% содержатся только в образце ВГ+ H_2 , а среди остальных соединений в составе образца ВГ+ H_2 +Zn их содержание значимо уменьшается лишь в случае C_{15} – C_{16} - и C_{18} -полиароматических углеводородов (соответственно в 1.28, 1.2 и 4.4 раза), составляя 9.73, 10.21 и 0.39 % от всех

соединений. Величина степени изомеризации для полиароматических углеводородов данного образца уменьшается в 1.5 раза до значения 0.15.

Таким образом, метод газовой хромато-масс-спектрометрии с ионизацией электронами показал изменения в структурно-групповых составах продуктов термокаталитического крекинга и каталитического гидрокрекинга вакуумного газойля. При добавлении катализатора в процессы гидрокрекинга повышается содержание алканов в продуктах (с 10.27 до 22.53 %), алкенов (с 0.08 до 0.87 %), алкилбензолов (с 5.57 до 8.04 %), алкенилбензолов (1.76 до 2.28 %), алкилинданов и алкилтетралинов (с 4.86

до 6.90 %), общее содержание полиароматических углеводородов снижается (с 35.15 до 28.68 %). Повышается степень изомеризации соединений. Добавление катализатора на основе цинка в процессы термического крекинга приводит к снижению содержания в продуктах алканов (с 52.16 до 47 %), алкенов (с 24.19 до 16.9 %), циклоалканов (с 3.36 до 2.5 %), к повышению содержания алкилбензолов (с 11.33 до 15 %), алкенилбензолов (с 0.76 до 2.3 %), алкилинданов и тетралинов (с 2.51 до 8.7 %), значительно повышается степень изомеризации алкилбензолов (с 1.01 до 5.74 %) и алкенилбензолов (с 1.71 до 12.59 %).

Литература

1. Солодова Н.Л., Терентьева Н.А. Современное состояние и тенденции развития каталитического крекинга нефтяного сырья // Вестник Казанского технологического университета. — 2012. — Т.15, №1. — С.141-147.
2. Хаджиев С.Н. Наногетерогенный катализ — новый сектор нанотехнологий в химии и нефтехимии // Нефтехимия. — 2011. — Т.51, №1. — С.3-16.
3. Мустафин И.А., Абдуллин М.Ф., Судакова О.М., Мустафин А.Г., Галияхметов Р.Н., Валинурова Э.Р. Деструктивное превращение газойля в присутствии наноразмерного катализатора на основе никеля // Нефтехимия. — 2018. — Т.58, №3. — С.275-281.
4. Мустафин И.А., Боков Л.Е., Галияхметов Р.Н., Судакова О.М., Ганцев А.В. Образование ультрадисперсной суспензии никеля и цинка в промышленном вакуумном газойле // Баш. хим. ж. — 2017. — Т.24, №1. — С.82-87.
5. Мустафин И.А., Судакова О.М., Станкевич К.Е., Галияхметов Р.Н., Валинурова Э.Р., Ханов А.Р. Многократное использование наноразмерного металлсодержащего катализатора цинка при крекинге прямогонного мазута // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. — 2020. — №5. — С.93-106.
6. Мустафин И.А., Судакова О.М., Кожанова А.А., Фокина Е.О., Валинурова Э.Р., Мустафин А.Г., Галияхметов Р.Н. Об изменении компонентного состава дистиллята прямогонного мазута после каталитического крекинга в присутствии 2-этилгексаноата цинка, никеля и железа // Нефтехимия. — 2018. — Т.58, №6. — С.707-711.
7. Патент РФ №2612220. Способ получения 2-этилгексаноата никеля / Галияхметов Р.Н., Судакова О.М., Мустафин А.Г., Гимадиева А.Р., Мустафин И. А. // Б.И. — 2017. — №7.

References

1. Solodova N.L., Terent'eva N.A. *Sovremennoe sostoyanie i tendentsii razvitiya kataliticheskogo krekinga nefryanogo syr'ya* [Current state and development trends of catalytic cracking of petroleum feedstock]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2012, vol.15, no.1, pp.141-147.
2. Khadzhiyev S.N. *Nanogeterogennyi kataliz — novyi sektor nanotekhnologii v khimii i neftekhimii* [Nanoheterogeneous catalysis — a new sector of nanotechnology in chemistry and petrochemistry]. *Neftekhimiya* [Petrochemistry], 2011, vol.51, no.1, pp.3-16.
3. Mustafin I.A., Abdullin M.F., Mustafin A.G., Sudakova O.M., Galiakhmetov R.N., Valinurova E.R. [Destructive conversion of gas oil in the presence of a nickel-based nanosized catalyst]. *Petroleum Chemistry*, 2018, vol.58, no.5, pp.379-386.
4. Mustafin I.A., Bokov L.E., Galiakhmetov R.N., Sudakova O.M., Gantsev A.V. *Obrazovanie ul'tradispersnoi suspenzii nikelya i tsinka v promyshlennom vakuumnom gazoile* [Formation of ultrafine suspension of nickel and zinc in industrial vacuum gas oil]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2017, vol.24, no.1, pp.82-87.
5. Mustafin I.A., Sudakova O.M., Stankevich K.E., Galiakhmetov R.N., Valinurova E.R., Khanov A.R. *Mnogokratnoe ispol'zovanie nanorazmernogo metallsoderzhashchego katalizatora tsinka pri krekinge priamogonnogo mazuta* [Multiple use of a nanosized metal-containing zinc catalyst in the cracking of straight-run fuel oil]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal Neftegazovoe delo* [Electronic scientific journal Oil and Gas Business], 2020, no.5, pp.93-106.
6. Mustafin I.A., Valinurova E.R., Sudakova O.M., Kozhanova A.A., Fokina E.O., Mustafin A.G., Galiakhmetov R.N. [On the change in the component composition of straight-run fuel oil distillate by catalytic cracking in the presence of zinc, nickel, and iron 2-ethylhexanoates]. *Petroleum Chemistry*, 2018, vol.58, no.12, pp.1051-1055.
7. Galiakhmetov R.N., Sudakova O.M., Mustafin A.G., Gimadiev A.R., Mustafin I.A. *Sposob polucheniya 2-etilgeksanoata nikelya* [Nickel 2-ethylhexanoate production method]. Patent RF, no.2612220, 2017.