

УДК 665.642.5-404:665.64.097.3

**ИЗМЕНЕНИЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА КУБОВЫХ ОСТАТКОВ
КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ МАЗУТОВ В ПРИСУТСТВИИ
2-ЭТИЛГЕКСАНОАТОВ ЦИНКА, НИКЕЛЯ И ЖЕЛЕЗА**

**CHANGE IN THE GROUP COMPOSITION OF CUBE RESIDUES
AFTER CATALYTIC DESTRUCTION OF FUEL OIL
IN THE PRESENCE OF 2-ETHYLHEXANOATES OF ZINC,
NICKEL AND IRON**

**И.А. Мустафин, О.М. Судакова, Р.З. Зайнуллин, К.Е. Станкевич,
А.В. Ганцев, Э.Р. Валинурова, Р.Н. Галиахметов**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация
Башкирский государственный университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

**Idar A. Mustafin, Oksana M. Sudakova, Ravil Z. Zayullin,
Clara E. Stankevich, Alexander V. Gancev, Elvira R. Valinurova,
Rail N. Galiakhmetov**

**Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation
Bashkir State University, Ufa, Russian Federation**

Аннотация. В работе приведены результаты каталитического крекинга (КК) мазутов – прямогонного мазута и мазута М-100. КК мазутов проводили в присутствии 2-этилгексаноатов железа, никеля или цинка (2-ЭГЖ, 2ЭГН, 2ЭГЦ), из которых в результате термической деструкции образуются наночастицы оксидов и сульфидов металлов размером до 0–80 нм. Наличие нанокатализаторов в нефтяной дисперсной среде в 1,5–2,4 раза увеличивает выход дистиллята при каталитическом крекинге

мазутов. По изменению группового состава кубовых остатков можно судить о приоритетных химических превращениях при термокатализе мазутов. Групповой состав кубовых остатков мазутов до и после КК изучали методом SARA (saturates, aromatics, resins, asphaltenes). Установлено, что в результате КК в присутствии нанокатализаторов снижается содержание мальтенов, возрастает массовая доля асфальтенов и карбенов. Показано, что нанокатализаторы металлов оказывают разное влияние на каталитические превращения мазутов. Введение в мазут 2ЭГЦ способствует усилению процессов дегидроциклизации и ароматизации, а 2-ЭГЖ или 2ЭГН ускоряют реакции dealкилирования нафтенов, аренов и термического распада углеводородов. Изменяя природу, размер наночастиц катализаторов, можно добиться не только высокой эффективности, но и селективности каталитической термодеструкции углеводородов нефтяных дисперсных систем.

Abstract. The paper presents the results of catalytic cracking (CC) of fuel oil – straight-run fuel oil and fuel oil M-100. The CC of fuel oils was carried out in the presence of 2-ethylhexanoates of iron, nickel, or zinc (2-EHZ, 2EGN, 2EGC), from which nanoparticles of metal oxides and sulfides up to 10-80 nm in size are formed as a result of thermal destruction. The presence of nanocatalysts in an oil dispersed medium increases the distillate yield by a factor of 1.5-2.4 during the catalytic cracking of fuel oil. By the change in the group composition of the cube residues, one can tell about the priority chemical transformations in the thermocatalysis of fuel oil. The group composition of the residues of fuel oils before and after CC was studied by the SARA method (saturates, aromatics, resins, asphaltenes). It was found that as a result of CC in the presence of nanocatalysts, the content of maltenes decreases, and the mass fraction of asphaltenes and carbenes increases. It is shown that metal nanocatalysts have different effects on catalytic conversions of fuel oil. The introduction of 2EHC into fuel oil enhances the processes of dehydrocyclization and aromatization, while 2-EHL or 2EHN accelerate the dealkylation of naphthenes, arenes and

thermal decomposition of hydrocarbons. By changing the nature and size of catalyst nanoparticles, it is possible to achieve not only high efficiency, but also the selectivity of catalytic thermal destruction of hydrocarbons in petroleum dispersed systems.

Ключевые слова: мазут; групповой состав; мальтены; асфальтены; карбены; 2-этилгексаноаты металлов

Key words: fuel oil; group composition; maltenes; asphaltenes; carbenes; metal 2-ethylhexanoates

Для переработки тяжелого углеводородного сырья в промышленности в основном применяют каталитический крекинг с участием гетерогенных катализаторов в виде стационарного или псевдоожиженного слоя гранул или таблеток [1, 2]. Недостатком таких катализаторов является их быстрое отравление, поэтому сырье должно быть подвергнуто предварительной подготовке (деметаллизация, деасфальтизация и т.д.).

Сложность процесса подготовки гетерогенных катализаторов к работе способствует разработке новых методов получения катализаторов, в том числе наноразмерных [3–6].

При добавлении в процессах крекинга в углеводородное сырье в качестве катализаторов солей металлов образуются наноразмерные частицы – сульфиды и оксиды этих металлов, которые позволяют увеличить выход дистиллятной части [7]. В работах [8–12] описано термическое воздействие на тяжелое углеводородное сырье, содержащее нефтерастворимые соли металлов с образованием наноразмерных суспензий металлов (рисунки 1, 2).

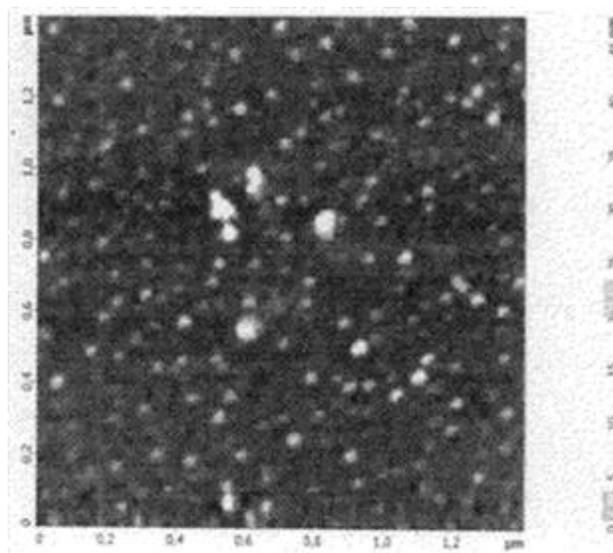


Рисунок 1. Микрофотографии наночастиц никеля, полученного при воздействии на мазут добавлением 2ЭГН при температуре 300 °С

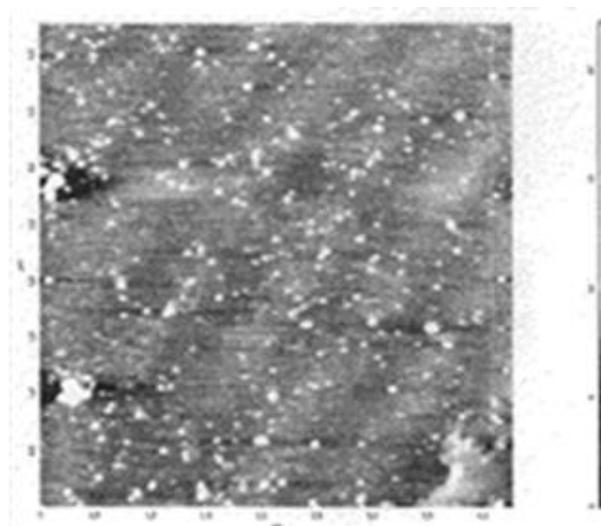


Рисунок 2. Микрофотографии наночастиц меди, полученного при воздействии на мазут добавлением 2ЭГН при температуре 270 °С

При нагревании до 300 °С мазута западно-сибирской нефти, содержащей 2-этилгексаноат никеля, установлено образование наночастиц с размером порядка 80 нм. При перегонке указанной смеси (в отличие от обычного термического процесса без катализатора) отгоняется 49,6 % масс. углеводородов с температурой кипения до 350 °С и 16,8 % масс. – с температурой кипения 350–360 °С.

Экспериментальная часть

С целью повышения эффективности термолиза образец мазута подвергали деструктивной разгонке на лабораторном аппарате АРН-2 по ГОСТ 11011-64 при температуре 400 °С в присутствии 0,5 % масс. 2-ЭГЖ, 2ЭГН, 2ЭГЦ. В полученных образцах термической разгонки мазута наблюдали наноразмерные частицы катализатора методом АСМ микроскопии на сканирующем зондовом микроскопе Solver Pro-M фирмы NT-MDT.

Измерение размеров частиц коллоидных растворов нефтепродуктов в толуоле (соотношение 1 : 10) с полученными катализаторами проводили методом фотонной корреляционной спектроскопии на спектрометре Photocor Complex и на лазерном анализаторе размеров частиц SALD-7101 (фирма «Shimadzu»).

Фазовый состав образцов изучали на дифрактометре ДРОН-3М с фильтрованным рентгеновским излучением $\text{CuK}\alpha$, численное значение которого составляет 0,154 нм. Для подтверждения достоверности наблюдаемых веществ использовали данные о ширине рефлексов на полувысоте, полученные из программного обеспечения дифрактометра.

Средние размеры межплоскостных расстояний найденных веществ вычисляли по формуле Селякова-Шеррера

$$\Delta 2\theta(\text{рад}) = \frac{K\lambda}{D \cos \theta_0},$$

где $\Delta 2\theta(\text{рад})$ – ширина (рад) дифракционного максимума на половине высоты;

λ – длина волны рентгеновского излучения (м);

θ_0 – угол дифракции (рад) соответствующий пику;

D – средний размер межплоскостного расстояния (м).

В указанной выше формуле в разных работах величина K варьируется от 0,94 до 1, поэтому выбрано среднее значение 0,97.

Термографические исследования проводили на термоанализаторе TGA/DSC1 фирмы «Mettler Toledo» (Швейцария).

Групповой состав кубовых остатков термокаталитической деструкции прямогонного мазута (ПМ) и мазута М-100 изучали методом SARA [13]. Экстракцией *n*-гептаном и толуолом выделяли фракции мальтенов (γ -фракция) и асфальтенов (β -фракция) соответственно, а также нерастворимую в толуоле α -фракцию (карбены и карбоиды). Фракцию мальтенов разделяли на насыщенные и ароматические углеводороды, смолы методом колоночной жидкостной хроматографии на колонке с оксидом алюминия (размер частиц 0,5–1,0 мм).

Схема разделения приведена на рисунке 3. Полученные экстракты узких фракций концентрировали, осушали и доводили до постоянной массы.

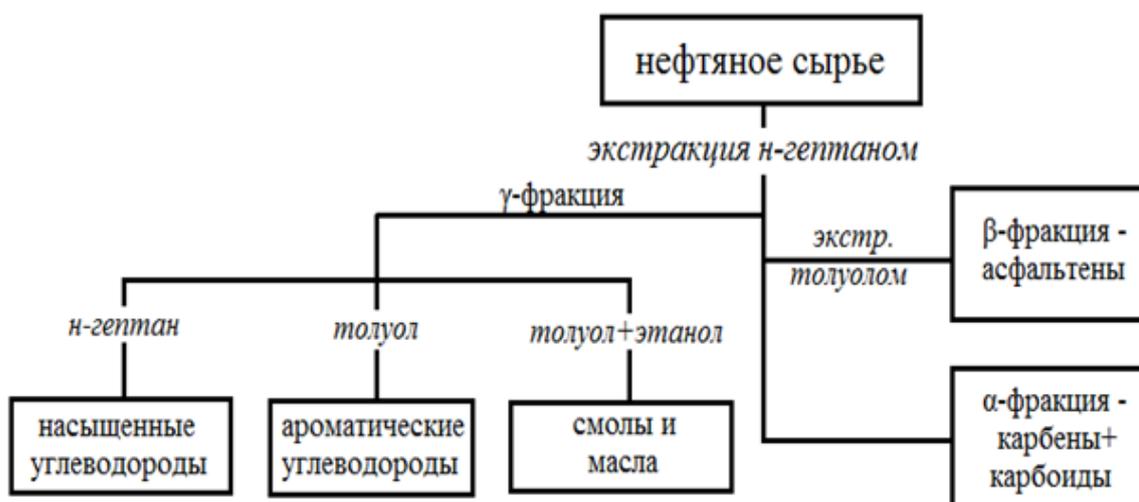


Рисунок 3. Схема разделения нефтяного остатка методом SARA

Обсуждение результатов

Известно, что при воздействии высоких температур на нефть и ее продукты происходит процесс карбонизации и поликонденсации по схеме: легкие масла → полициклические ароматические углеводороды → смолы → асфальтены → карбены → карбоиды [14].

Используя различные катализаторы и меняя условия эксперимента, можно управлять термическими превращениями углеводородов в сложных нефтяных системах.

На рисунках 4 и 5 приведен выход жидкого дистиллята, полученного при термокаталитической разгонке прямогонного мазута и мазута М-100, в присутствии 0,5 % масс. 2-ЭГЦ, 2ЭГЖ (II), 2ЭГН. Видно, что введение катализаторов в целом способствует росту выхода светлых продуктов для обоих образцов мазута: в 1,4–2,4 раза – для мазута М-100 и в 1,3–1,5 раза – для ПМ. Установлено, что действие нанокатализаторов металлов не равнозначно. Максимальный выход дистиллята наблюдается при использовании 2-ЭГЦ (мазут М-100) и 2-ЭГЖ (мазут ПМ).

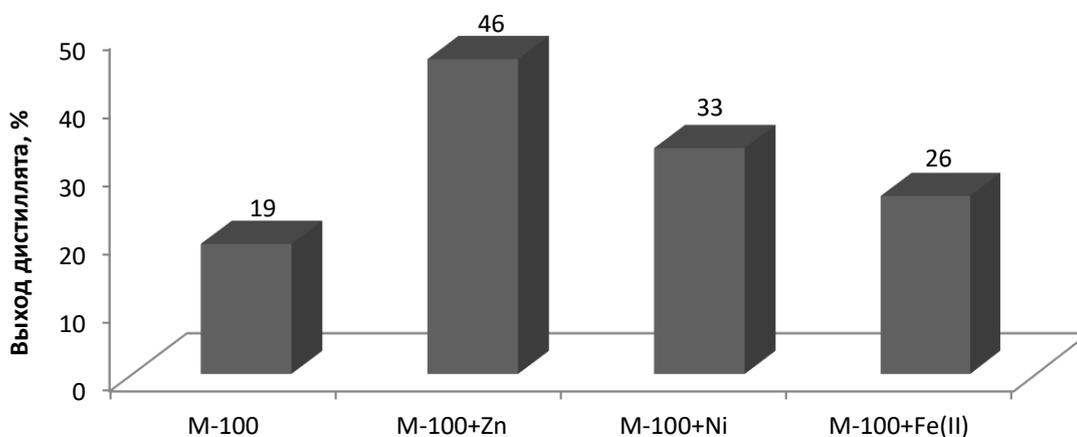


Рисунок 4. Влияние природы нанокатализатора на выход дистиллята термокаталитической разгонки мазута М-100

В [9–12] показано, что нагревание вакуумного газойля и мазута западно-сибирской нефти в присутствии 2-ЭГН приводит к образованию ультрадисперсной суспензии, оказывающей существенное влияние на процессы деструкции углеводородов. Термическая деструкция органических солей металлов привела к образованию оксидов, сульфидов металлов и восстановленной формы наночастиц металлов с размером 10–80 нм, обнаруженных методом фотонной корреляционной

спектроскопии на спектрометре Photocor Complex и на лазерном анализаторе размеров частиц SALD-7101 (фирма «Shimadzu»).

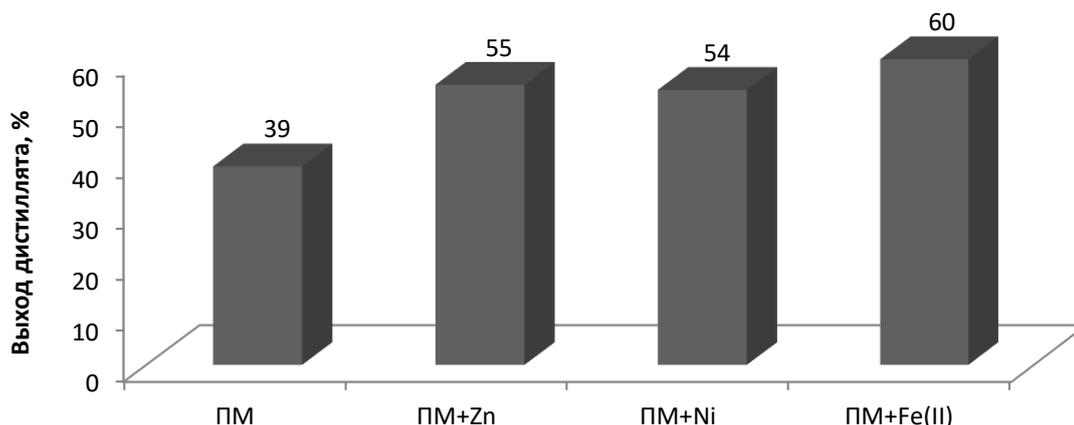


Рисунок 5. Влияние природы нанокатализатора на выход дистиллята термокаталитической разгонки мазута ПМ

Исследования методом SARA [13] подтвердили факт изменения группового состава кубовых остатков при термокатализе мазутов в присутствии нанокатализаторов цинка, железа и никеля.

В таблице 1 приведен групповой состав кубовых остатков КК мазутов ПМ и М-100.

Таблица 1. Групповой состав кубовых остатков каталитического крекинга прямогонного мазута и мазута М-100

Образец мазута	γ-фракция, % масс.	β-фракция, % масс.	α-фракция, % масс.
М-100 до крекинга	75,7	17,9	5,4
М-100 крекинг без катализатора	72,6	2,8	21,1
М-100+ 2ЭГЦ	42,7	18,4	35,6
М-100+2ЭГЖ (II)	55,1	25,9	16,7
М-100+2ЭГН	52,1	16,3	30,9
Прямогонный мазут			
ПМ до крекинга	95,6	3,9	0,03
ПМ крекинг без катализатора	91,1	6,7	0,1
ПМ+2ЭГЦ	17,5	8,1	70,4
ПМ+2ЭГЖ (II)	27,2	15,9	53,6
ПМ+2ЭГН	39,8	15,7	43,8

Установлено, что термический крекинг мазута М-100 без катализатора при 400 °С приводит к снижению массовой доли асфальтенов в 6 раз и росту карбенов в 4 раза.

Массовая доля мальтенов изменяется незначительно – наблюдается спад примерно на 3 %. Введение 2-ЭГ металлов существенно изменяет групповой состав кубовых остатков КК мазутов (таблица 1). Снижается содержание мальтенов и наблюдается рост асфальтенов и карбенов, т.е. происходит цепочка фазовых переходов: мальтены→асфальтены→карбены→карбоиды. Причем в присутствии нанокатализатора на основе цинка термические превращения фракций идут глубже, так как содержание α -фракции в мазуте М-100 возрастает более чем в 6 раз, а мальтенов – уменьшается почти 2 раза. При введении 2-ЭГ металлов в ПМ наблюдается более существенный сдвиг равновесия фазового превращения от γ -фракции к α -фракции, чем у мазута М-100. Содержание α -фракции в кубовых остатках ПМ возрастает до 70 % масс. с одновременным снижением массовой доли мальтенов до 17,5 %. В наибольшей степени данный эффект наблюдается при использовании также цинксодержащего катализатора, который показывает максимальную активность в процессах ароматизации и конденсации. Такое заметное различие в КК мазутов обусловлено изначально разным групповым составом исходного сырья.

Оксиды и сульфиды металлов являются по электронной теории Льюиса апротонными кислотами, и в их присутствии реализуется ионный механизм катализа. Углеводороды нефтяного сырья ведут себя как слабые основания, причем алкены являются при этом более сильными, а алканы слабыми основаниями [15]. Восстановленные наночастицы металлов обуславливают электронный катализ, т.е. ускоряющее действие катализаторов достигается облегчением электронных переходов в гомолитических реакциях за счет свободных электронов переходных металлов [13]. Поскольку в изученных жидких фазах присутствуют оба типа катализаторов, можно, по-видимому, предполагать, что при КК мазутов в присутствии 2-ЭГ металлов реализуется

бифункциональный катализ. Присутствие наночастиц соединений цинка приводит к большему эффекту термического крекинга – возрастает выход жидкого дистиллята в 2.5 раза по сравнению с остатком КК исходного мазута М-100 (рисунок 3). В то же время выход α -фракции возрастает в 7 раз, т.е. усиливаются процессы циклизации и поликонденсации (таблица 1). Наличие нанокатализаторов на основе железа напротив приводит к меньшему выходу дистиллята и тяжелой α -фракции. 2-ЭГЖ в отличие от 2-ЭГЦ или 2ЭГН не активен в процессах циклизации.

Разделение мальтенов на более узкие фракции методом колоночной жидкостной хроматографии подтвердило предварительно сделанные выводы о различной роли нанокатализаторов на основе цинка, никеля или железа. На рисунках 6–8 в качестве примера приведены диаграммы распределения насыщенных и ароматических углеводородов, смол в γ -фракции остатка КК мазута М-100 в присутствии 2-ЭГ металлов. Катализатор на основе цинка способствует процессу образования ароматических и уменьшению насыщенных углеводородов, т.е. в большей степени проявляет активность в реакциях дегидроциклизации и ароматизации. Катализаторы на основе никеля или железа более активны в реакциях dealкилирования нафтенных, аренов и термического распада углеводородов.

Поведение в термических превращениях нанокатализаторов на основе цинка, железа и никеля зависит от активности металла, обусловленной его электронным строением [16].

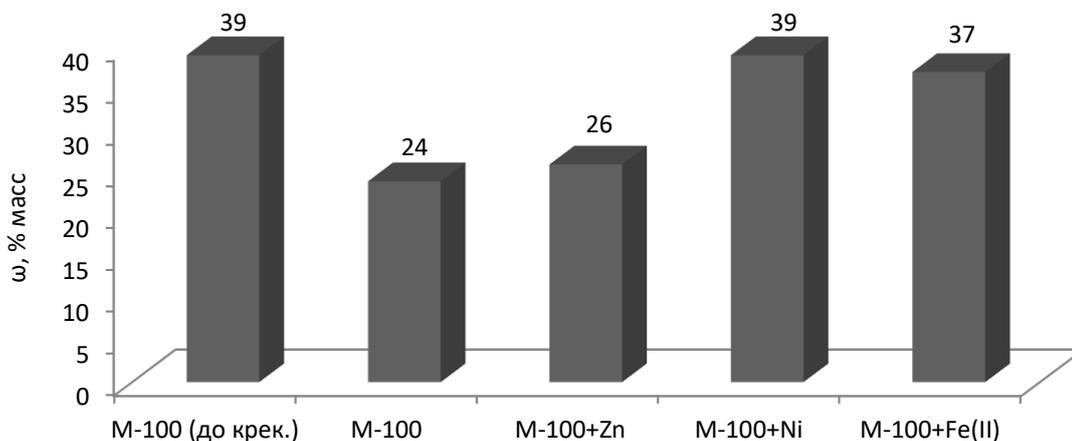


Рисунок 6. Распределение насыщенных углеводородов в мальтенах остатков КК мазута М-100

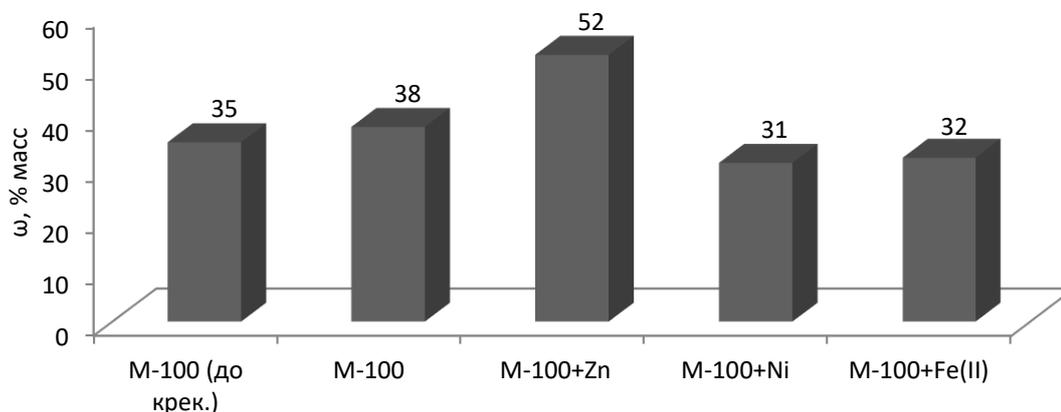


Рисунок 7. Распределение ароматических углеводородов в мальтенах остатков КК мазута М-100

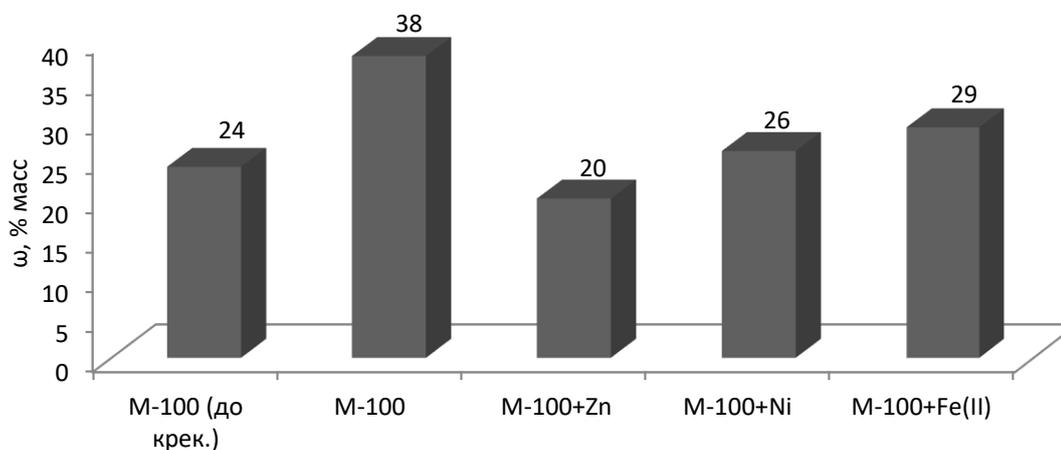


Рисунок 8. Распределение насыщенных смол в мальтенах остатков КК мазута М-100

Выводы

1. Установлено, что использование 2-этилгексаноата никеля, цинка или железа при осуществлении каталитического крекинга нефтяных остатков позволяет существенно повысить выход светлых продуктов при более мягком температурном режиме процесса.

2. Изменение природы металла способствует проявлению селективности химических превращений в дисперсионной среде нефтепродуктов, что отражается на групповом составе кубовых остатков.

3. Введение в мазуты ПМ и М-100 2-ЭГЦ способствует усилению процессов дегидроциклизации и ароматизации. Использование 2-ЭГЖ или 2-ЭГН ускоряют реакции dealкилирования нафтенов, аренов и реакции термического распада углеводородов.

Работа выполнена при поддержке Гранта Республики Башкортостан молодым ученым.

Список используемых источников

1. Крылов О.В. Гетерогенный катализ. М.: Академкнига, 2004. 679 с.
2. Chorkendorff I., Niemantsverdriet J.W. Concepts of Modern Catalysis and Kinetics. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2003. 30 p.
3. Хаджиев С.Н. Наногетерогенный катализ – новый сектор нанотехнологий в химии и нефтехимии // Нефтехимия. 2011. Т. 51. № 1. С. 3-16.
4. Солодова Н.Л., Терентьева Н.А. Наноматериалы и нанотехнологии в нефтепереработке // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 3 (1). С. 209-216.
5. Суворов Ю.П., Кричко А.А., Хаджиев С.Н. Гидрирование тяжелых нефтяных остатков на опытной установке низкого давления // Нефтехимия. 2000. Т. 40. № 3. С. 193-197.

6. Alkhaldi S., Husein M.M. In Site Preparation of Alumina Nanoparticles in Heavy Oil and their Thermal Cracking Performance // Energy and Fuels. 2014. Vol. 28. P. 6563-6569. DOI: 10.1021/ef5012963.

7. Пат. 2012131680 РФ, МПК С 10 G 7/00. Увеличение выхода дистиллятов в процессе низкотемпературного крекинга с использованием наночастиц / А.С. Тов, П.Е. Стрижак. 2012131680/04, Заявлено 15.12.2010; Оpubл. 27.01.2014. Бюл. 3.

8. Galiakhmetov R.N., Sudakova O.M., Mustafin A.G., Akhmetov A.G., Mustafin I.A. Ultradispersed Nickel Suspension Formation in Heavy Petroleum Hydrocarbons in the Process of Heat Treatment // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. No. 21. P. 41864-41866.

9. Пат. 2472842 РФ, МПК С10G 31/00. Применение органической соли для увеличения глубины переработки углеводородсодержащего сырья и способ увеличения глубины переработки углеводородсодержащего сырья / Р.Н. Галиахметов, А.Г. Мустафин. 2011151658/04, Заявлено 16.12.2011; Оpubл. 20.01.2013. Бюл. 2.

10. Мустафин И.А., Судакова О.М., Галиахметов Р.Н., Ахметов А.Ф., Мустафин А.Г. Рентгенофазные исследования остатков нефтепродуктов после термokatалитической деструкции в присутствии 2-этилгексаноатов цинка и никеля // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2016. № 12. С. 18-23.

11. Пат. 2485167 РФ, МПК С 10 G 9/00. Способ переработки углеводородсодержащего сырья (варианты) / Р.Н. Галиахметов, А.Г. Мустафин. 2012103649/04, Заявлено 02.02.2012; Оpubл. 20.06.2013. Бюл. 17.

12. Пат. 2486130 РФ, МПК В82В 3/00. Способ получения наночастиц металлов / Р.Н. Галиахметов, А.Г. Мустафин. 2011151591/04, Заявлено 16.12.2011; Оpubл. 27.06.2013. Бюл. 18.

13. Carbognani L., Izquierdo A. Preparative and Automated Compound Class Separation of Venezuelan Vacuum Residua by High-Performance Liquid Chromatography // *Journal of Chromatography A*. 1989. Vol. 484. P. 399-408. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)88987-1.

14. Беляева Л.С., Валинурова Э.Р. Влияние термообработки нефтяного сырья на групповой состав пека // *Вестник Башкирского университета*. 2017. Т. 22. № 4. С. 1001-1005.

15. Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Кауфман А.А. Технология переработки нефти, газа и твердых горючих ископаемых. СПб.: Недра, 2009. 827 с.

16. Некрасов Б.В. Основы общей химии: В 2 Т. М.: Химия, 1973. Т. 1. 687 с.

References

1. Krylov O.V. *Geterogennyi kataliz* [Heterogeneous Catalysis]. Moscow, Akademkniga Publ., 2004. 679 p. [in Russian].

2. Chorkendorff I., Niemantsverdriet J.W. *Concepts of Modern Calysis and Kinetics*. Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2003. 30 p.

3. Khadzhiev S.N. Nanogeterogennyi kataliz – novyi sektor nanotekhnologii v khimii i neftekhimii [Nanoheterogeneous Catalysis – a New Sector of Nanotechnology in Chemistry and Petrochemistry]. *Neftekhimiya – Neftekhimiya*, 2011, Vol. 51, No. 1, pp. 3-16. [in Russian].

4. Solodova N.L., Terenteva N.A. Nanomaterialy i nanotekhnologii v neftepererabotke [Nanomaterials and Nanotechnology in Oil Refining]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Herald of Kazan Technological University*, 2013, Vol. 16, No. 3 (1), pp. 209-216. [in Russian].

5. Suvorov Yu.P., Krichko A.A., Khadzhiev S.N. Gidrirovanie tyazhelykh neftyanykh ostatkov na opytnoi ustanovke nizkogo davleniya [Low-Pressure Pilot-Plant Hydrogenation of Heavy Petroleum Residues]. *Neftekhimiya – Neftekhimiya*, 2000, Vol. 40, No. 3, pp. 193-197. [in Russian].

6. Alkhaldi S., Husein M.M. In Site Preparation of Alumina Nanoparticles in Heavy Oil and Their Thermal Cracking Performance. *Energy and Fuels*, 2014, Vol. 28, pp. 6563-6569. DOI: 10.1021/ef5012963.

7. Tov A.S., Strizhak P.E. *Uvelichenie vykhoda distillyatov v protsesse nizkotemperaturnogo krekinga s ispol'zovaniem nanochastits* [Increasing the Yield of Distillates in the Process of Low-Temperature Cracking Using Nanoparticles]. Patent RF, No. 2012131680, 2014. [in Russian].

8. Galiakhmetov R.N., Sudakova O.M., Mustafin A.G., Akhmetov A.G., Mustafin I.A. Ultradispersed Nickel Suspension Formation in Heavy Petroleum Hydrocarbons in the Process of Heat Treatment. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, Vol. 10, No. 21, pp. 41864-41866.

9. Galiakhmetov R.N., Mustafin A.G. *Primenenie organicheskoi soli dlya uvelicheniya glubiny pererabotki uglevodorodsoderzhashchego syr'ya i sposob uvelicheniya glubiny pererabotki uglevodorodsoderzhashchego syr'ya* [The Use of Organic Salt to Increase the Depth of Processing of Hydrocarbon-Containing Raw Materials and a Method for Increasing the Depth of Processing of Hydrocarbon-Containing Raw Materials]. Patent RF, No. 2472842, 2013. [in Russian].

10. Mustafin I.A., Sudakova O.M., Galiakhmetov R.N., Akhmetov A.F., Mustafin A.G. Rentgenofaznye issledovaniya ostatkov nefteproduktov posle termokataliticheskoi destruktсии v prisutstvii 2-etilgeksanoatov tsinka i nikelya [The X-Ray Phase Diffraction Studies of Petroleum Residues after Catalytic Thermal Destruction in the Presence of Zinc and Nickel 2-Ethylhexanoate]. *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompanii – World of Oil Products. The Oil Companies' Bulletin*, 2016, No. 12, pp. 18-23. [in Russian].

11. Galiakhmetov R.N., Mustafin A.G. *Sposob pererabotki uglevodorodsoderzhashchego syr'ya (varianty)* [Method for Processing Hydrocarbon-Containing Raw Materials (Options)]. Patent RF, No. 2485167, 2013. [in Russian].

12. Galiakhmetov R.N., Mustafin A.G. *Sposob polucheniya nanochastits metallov* [Method of Obtaining Metal Nanoparticles]. Patent RF, No. 2486130, 2013. [in Russian].

13. Carbognani L., Izquierdo A. Preparative and Automated Compound Class Separation of Venezuelan Vacuum Residua by High-Performance Liquid Chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1989, Vol. 484, pp. 399-408. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)88987-1.

14. Belyaeva L.S., Valinurova E.R. Vliyanie termoobrabotki neftyanogo syr'ya na gruppovoi sostav peka [The Influence of Temperature of Heat Treatment of Oil on the Group Composition of Pitch]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta – Bulletin of Bashkir University*, 2017, Vol. 22, No. 4, pp. 1001-1005. [in Russian].

15. Akhmetov S.A., Ishmiyarov M.Kh., Kaufman A.A. *Tekhnologiya pererabotki nefti, gaza i tverdykh goryuchikh iskopaemykh* [Oil, Gas and Solid Fossil Fuels Refining Technology]. Saint Petersburg, Nedra Publ., 2009. 827 p. [in Russian].

16. Nekrasov B.V. *Osnovy obshchei khimii: V 2 T.* [Fundamentals of General Chemistry: In 2 Volumes]. Moscwo, Khimiya Publ., 1973, Vol. 1. 687 p. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Мустафин Ильдар Ахатович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Ildar A. Mustafin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Processing Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: iamustafin@gmail.com

Судакова Оксана Минигуловна, аспирант кафедры «Управление качеством», Башкирский государственный университет, г. Уфа, Российская Федерация

Oksana M. Sudakova, Post-graduate Student of Quality Control Department, Bashkir State University, Ufa, Russian Federation

e-mail: gold-dragon@inbox.ru

Зайнуллин Равиль Забитович, ассистент кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Ravil Z. Zayullin, Assistant of Oil and Gas Processing Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: zaynullin_ravil@outlook.com

Станкевич Клара Евгеньевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Clara E. Stankevich, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Processing Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: clara.stankevich@gmail.com

Ганцев Александр Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Alexander V. Gancev, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Processing Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: A.v.ganzev@yandex.ru

Валинурова Эльвира Рафиковна, канд. техн. наук, доцент кафедры общей, аналитической и прикладной химии, УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Elvira R. Valinurova, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of General, Analytical and Applied Chemistry Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: valinurova_elvira@mail.ru

Галиахметов Раиль Нигматьянович, д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой «Управление качеством», Башкирский
государственный университет, г. Уфа, Российская Федерация

Rail N. Galiakhmetov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of
Quality Control Department, Bashkir State University, Ufa, Russian Federation

e-mail: rail007@mail.ru