

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК, СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРЕНЫ, НА ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО В ПРОЦЕССЕ ИХ СОВМЕСТНОГО ОКИСЛЕНИЯ С НЕФТЯНЫМ ГУДРОНОМ

Е.И. Грушова, В.И. Жолнеркевич, В.О. Киселев, Ю.А. Горащук

Евгения Ивановна Грушова (ORCID 0000-0001-7405-056X), Вероника Игоревна Жолнеркевич (ORCID 0000-0003-4525-9617)*, Владислав Олегович Киселев (ORCID 0000-0001-7555-4284), Юлия Александровна Горащук (ORCID 0000-0001-5191-5903)

Кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, Минск, Республика Беларусь, 220006

E-mail: grushova.e@mail.ru, zholnerkevichv@mail.ru *, vlad19ks@gmail.com, gorashchuk.u.a@gmail.com

Приведены результаты исследования влияния полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) на эффективность процесса окисления нефтяного гудрона в битум. В качестве добавок к гудрону использовали побочные продукты нефтепереработки: остаток тяжелой смолы пиролиза (ОТСП) и 2 образца экстрактов (МАЭ-1; МАЭ-2), выделенных из экстрактов селективной очистки масляного дистиллята ВД-3 с помощью полярного растворителя N-метилпирролидона, содержащего 10 мас.% этиленгликоля. Один из экстрактов – МАЭ-2 был получен из масляного экстракта, предварительно обработанного СВЧ-излучением. В гудрон добавки вводили при 70 °С в количестве 10 мас.%. Окисляли углеводородную систему кислородом воздуха в течение 6 ч при температуре 220 °С. На основе анализа свойств и группового, структурно-группового составов окисленных битумных вяжущих установлено, что увеличивается содержание в вяжущем бензольных смол (~ в 2,5 раза) и асфальтенов (на 3 мас.%) при окислении смеси МАЭ-1 + ОТСП. При окислении смеси МАЭ-2 + ОТСП содержание в вяжущем бензольных смол и асфальтенов снижается. Наблюдаемые изменения составов продуктов окисления смесей МАЭ + ОТСП сохраняются при окислении систем гудрон + (МАЭ+ОТСП). При этом условное содержание ароматических структур по данным ИК-спектрометрического анализа в масляном компоненте окисляемой системы гудрон + (МАЭ-2+ОТСП), а также полизамещенных полициклических ароматических структур почти в 2 раза превышает аналогичные показатели для масляного компонента окисленной системы гудрон + (МАЭ-1+ОТСП). В результате окисление смесей гудрона с добавками, содержащими полициклические арены, позволяет улучшить качество целевого продукта за счет увеличения содержания асфальтенов и ароматических структур в ароматическом масляном компоненте.

Ключевые слова: нефтяной гудрон, полициклические арены, окисление, битумное вяжущее, состав

THE EFFECT OF ADDITIVES CONTAINING POLYCYCLIC ARENAS ON THE FORMATION OF THE PROPERTIES OF BITUMEN BINDER IN THE PROCESS OF THEIR JOINT OXIDATION WITH OIL TAR

E.I. Grushova, V.I. Zholnerkevich, V.O. Kiselev, Yu.A. Gorashchuk

Evgenia I. Grushova (ORCID 0000-0001-7405-056X), Veronika I. Zholnerkevich (ORCID 0000-0003-4525-9617)*, Vladislav O. Kiselev (ORCID 0000-0001-7555-4284), Yulia A. Gorashchuk (ORCID 0000-0001-5191-5903)

Department of Oil and Gas Processing and Petrochemistry, Belarusian State Technological University, Sverdlova st., 13a, Minsk, 220006, Republic of Belarus

E-mail: grushova.e@mail.ru, zholnerkevichv@mail.ru *, vlad19ks@gmail.com, gorashchuk.u.a@gmail.com

The results of the study of the effect of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on the efficiency of the process of oxidation of oil tar into bitumen are presented. By-products of oil refining were used as additives to tar: the residue of heavy pyrolysis resin (OTSP) and 2 samples of extracts (MAE-1; MAE-2) isolated from extracts of selective purification of oil distillate VD-3 using

a polar solvent N-methylpyrrolidone containing 10 wt.% ethylene glycol. One of the extracts, MAE-2, was obtained from an oil extract pretreated with microwave radiation. Additives were injected into the tar at 70 °C in an amount of 10 wt.%. The hydrocarbon system was oxidized with air oxygen for 6 hours at a temperature of 220 °C. Based on the analysis of the properties and group, structural and group compositions of oxidized bitumen binders, it was found that the content of benzene resins in the binder increases (~ 2.5 times) and asphaltenes (by 3 wt.%) during the oxidation of the mixture of MAE-1 + OTSP. When the mixture of MAE-2 + OTSP is oxidized, the content of benzene resins and asphaltenes in the binder decreases. The observed changes in the compositions of the oxidation products of mixtures of MAE + OTSP are preserved during the oxidation of tar + systems (MAE + OTSP). At the same time, the conditional content of aromatic structures according to the data of the IR spectrometric analysis in the oil component of the oxidized tar + system (MAE-2+OTSP), as well as poly-substituted polycyclic aromatic structures, is almost 2 times higher than for the oil component of the oxidized tar + system (MAE-1+OTSP). As a result, the oxidation of tar mixtures with additives containing polycyclic arenas improves the quality of the target product by increasing the content of asphaltenes and aromatic structures in the aromatic oil component.

Key words: petroleum tar, polycyclic arenas, oxidation, bitumen binder, composition

Для цитирования:

Грушова Е.И., Жолнеркевич В.И., Киселев В.О., Горащук Ю.А. Влияние добавок, содержащих полициклические арены, на формирование свойств битумного вяжущего в процессе их совместного окисления с нефтяным гудроном. 2023. Т. 66. Вып. 1. С. 99–104. DOI: 10.6060/ivkkt.20236601.6678.

For citation:

Grushova E.I., Zholnerkevich V.I., Kiselev V.O., Gorashchuk Yu.A. The effect of additives containing polycyclic arenas on the formation of the properties of bitumen binder in the process of their joint oxidation with oil tar. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 1. P. 99–104. DOI: 10.6060/ivkkt.20236601.6778.

ВВЕДЕНИЕ

Для успешной разработки новых и совершенствования промышленных технологий переработки тяжелого углеводородного сырья в битумные вяжущие разного назначения необходимы глубокие знания о его составе и характере преобразования при различных вариантах физического и/или химического воздействия. Однако из-за отсутствия на данный момент систематического подхода, позволяющего представить четкую картину особенностей преобразования тяжелых углеводородов в сложном термоокислительном процессе, установление закономерностей превращения многокомпонентного сырья представляется весьма сложной задачей. Согласно [1-3], существующие результаты исследования связей между различными стандартными характеристиками окисленных битумов, полученных в результате совместного окисления остаточного нефтяного сырья с добавками, содержащими полициклические ароматические углеводороды (тяжелый газойль каталитического крекинга, остаток висбрекинга), пока не позволяют предложить универсальную схему получения битумов с заданным комплексом свойств. Поэтому для интенсификации технологического процесса важным и актуальным является создание базы дан-

ных, включающей результаты комплексного анализа исходного сырья и его составляющих, а также продуктов их конверсии при различных технологических режимах.

Цель работы – изучение закономерностей изменения структурно-группового состава окисленных битумов в зависимости от состава и свойств добавок нефтепродуктов к базовому сырью, содержащих полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), что в дальнейшем может быть использовано для обоснованного формирования состава смесового сырья, обеспечивающего улучшение показателей термоокислительного процесса и качества синтезируемого нефтяного битумного вяжущего.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Технология получения окисленного битума состояла в непрерывном контактировании исходного сырья с окислителем (кислородом воздуха) при температуре 220 °С. Для обеспечения улучшенного комплекса свойств целевого продукта нефтяной гудрон предварительно компаундировали при температуре 70 °С с добавками, содержащими ПАУ [4-6], в количестве 10 мас.%. В качестве добавок использовали остаток тяжелой смолы пиролиза (ОТСП) и ароматические экстракты (МАЭ-1,

МАЭ-2), полученные в результате обработки экстракта селективной очистки масляного дистиллята ВД-3 ($n_D^{50} = 1,5060$) известным растворителем состава N-метилпирролидон + 10 мас. % этиленгликоля [7] с целью получения неканцерогенных масел-пластификаторов. Одноступенчатую экстракцию проводили согласно [8, 9] при температуре 50 °С и кратности растворителя к сырью, равной 2:1 м.ч. При этом для получения добавки МАЭ-2 исходное сырье перед экстракцией подвергали активации в течение 3 мин энергией сверхвысокочастотного (СВЧ) электромагнитного поля с частотой излучения 2450 МГц с целью снижения вязкости нефтяного сырья [10-12]. В табл. 1 представлен групповой состав компонентов сырья, исследованный по методу Маркуссона [13].

Таблица 1

Групповой состав компонентов, используемых для получения окисленного битума

Table 1. Group composition of components used to produce oxidized bitumen

Компонент сырья	Содержание компонента, мас. %			
	Гудрон	ОТСП	МАЭ-1	МАЭ-2
Нейтральное масло (М)	82,57	67,36	82,35	79,08
Бензолные смолы (С ₆)	1,58	4,49	11,52	15,25
Спирто-бензолные смолы (С _{с-6})	1,78	2,49	6,13	5,57
Асфальтены (А)	14,07	25,66	—	—

Принципиальная схема получения битумного вяжущего на основе модифицированного сырья представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема получения окисленного битума
Fig. 1. Scheme for obtaining oxidized bitumen

Окисление проводили по известной методике [14] в течение 6 ч. Для полученных образцов битумного вяжущего определяли основные стандартные показатели: температуру размягчения по ГОСТ 11506-73, пенетрацию по ГОСТ 11506-78,

температуру хрупкости по ГОСТ 11507-78, адгезию по ГОСТ 13614-2013.

Для установления структурных особенностей исходных компонентов и продуктов окисления, т.е. битумных вяжущих, использовали ИК-спектроскопию. ИК спектры поглощения снимали в диапазоне 650-4000 см⁻¹ на спектрометре ФСМ 1202 ООО «Инфраспек» (Россия) в таблетках KBr, содержащих не более 1% исследуемого вещества. Поскольку исходные вещества и продукты окисления имеют сложный многокомпонентный состав, то общий вид полученных ИК спектров является их усредненной структурно-групповой характеристикой. Отнесение полученных спектров проводили согласно [17-20]: полосы поглощения алифатических структур (720, 1380, 1460 см⁻¹), ароматических структур (870, 1600 см⁻¹). Для установления сходства или различия в структуре анализируемых веществ использовали спектральные коэффициенты, которые рассчитывались как отношение оптических плотностей характеристических полос поглощения различных типов связей [21-22]. Использовали следующие коэффициенты: $C_1 = D_{1600}/D_{1460}$ (условное содержание ароматических структур); $C_2 = D_{1600}/D_{720}$ (условное отношение ароматических структур к парафиновым); $C_3 = D_{870}/D_{1600}$ (условное отношение полициклических ароматических структур к ароматическим); $C_4 = D_{870}/D_{1460}$ (условное содержание полициклических ароматических структур); $C_5 = D_{720+1380}/D_{1600}$ (условное отношение алифатических структур к ароматическим).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно [14, 23], нефтяные битумные вяжущие представляют собой дисперсные системы, в которых дисперсионной средой являются нейтральные масла (М), бензолные смолы (С₆) и спирто-бензолные смолы (С_{с-6}), а дисперсной фазой – асфальтены (А). Такие системы обладают хорошим комплексом эксплуатационных свойств только при определенном компонентном составе. При этом в качестве характеристики группового состава может быть использовано отношение $A/(M+C_6+C_{с-6})$, отражающее зависимость свойств вяжущих от их химического состава [15, 23]. Чем больше величина отношения содержания асфальтенов к сумме нейтральных масел и смол, тем выше температура размягчения вяжущего. В табл. 2 приведен групповой состав битумных вяжущих, полученных при термоокислении нефтепродуктов, содержащих ПАУ, гудрона и их смесей. А основные характеристики полученных битумов представлены на рис. 2.

Таблица 2

Групповой химический состав окисленных битумов
Table 2. Group chemical composition of oxidized bitumen

Сырье	Состав, мас.%				A/(M+C ₆ +C _{c-6})
	M	C ₆	C _{c-6}	A	
Гудрон (до окисления)	82,58	1,58	1,78	14,06	0,17
Гудрон	73,48	3,42	2,22	20,88	0,26
МАЭ-1 + ОТСП (2:1)	61,72	11,02	4,06	23,20	0,30
МАЭ-2 + ОТСП (2:1)	81,5	0,9	1,32	16,28	0,19
Гудрон + 10 мас.% ТСП	70,91	1,85	1,53	25,71	0,35
Гудрон + 10 мас.% (МАЭ-1 + ОТСП)	74,80	–	3,15*	22,05	0,28
Гудрон + 10 мас.% (МАЭ-2 + ОТСП)	75,68	2,19	1,92	20,01	0,25

*C₆+C_{c-6}

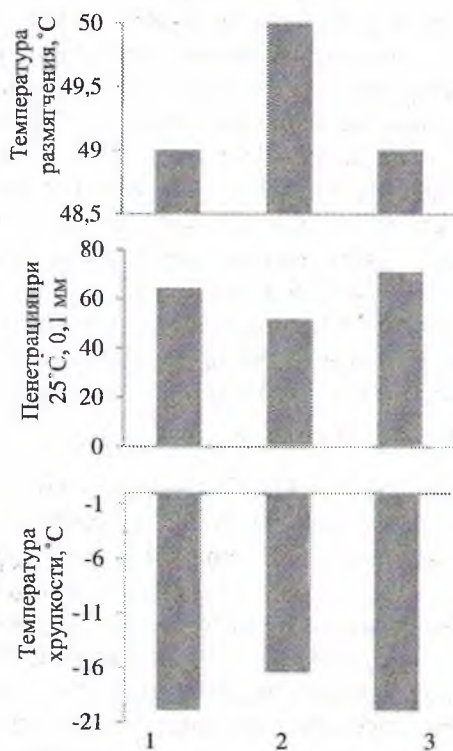


Рис. 2. Характеристика битумов, полученных при окислении гудрона (1), смеси гудрона с ОТСП и МАЭ-1 (2), смеси гудрона с ОТСП и МАЭ-2 (3)

Fig. 2. Characteristic of bitumen obtained during the oxidation of tar (1), a mixture of tar with OSB and MAE-1 (2), a mixture of tar with OSB and MAE-2 (3)

Высокое содержание в применяемых добавках ПАУ обуславливает получение битумных вяжущих с содержанием асфальтенов не менее 20 мас. % и меньшим содержанием смол, чем в окисленном гудроне, так как превращение смол в асфальтены

происходит быстрее, чем образование смол из масел [14].

Вклад асфальтенов, как структурирующего компонента, по отношению к дисперсионной среде (M+C₆+C_{c-6}) наибольший при окислении составов МАЭ-1+ОТСП и гудрон + ОТСП.

Одним из важнейших свойств битумов является их погодостойкость [14]. Улучшить погодостойкость окисленных битумов можно увеличивая содержание масел и асфальтенов. Согласно данным табл. 2, этому условию отвечают битумные вяжущие, полученные при совместном окислении нефтяного гудрона с добавками ОТСП и МАЭ-1 (или МАЭ-2). Считают [14,15,24], что характеристики асфальтенов и масляного компонента существенно влияют на свойства окисленного битума. Однако строение и структура асфальтенов, выделенных из нефтей различного происхождения, значительно отличаются друг от друга. Состав масляного компонента является одним из факторов, определяющим структуру битума, так как существенно влияет на вязкость битумного вяжущего и, соответственно, на его свойства. В табл. 3 приведен структурно-групповой состав ароматических соединений масляного компонента.

Таблица 3

Структурно-групповой состав масляного компонента окисленного битума

Table 3. Structural and group composition of the oil component of oxidized bitumen

Показатель	Исходный гудрон	Окисляемое сырье			
		гудрон + 10 мас.% ОТСП	гудрон + ОТСП + МАЭ-1	гудрон + ОТСП + МАЭ-2	
C ₁ =D ₁₆₀₀ /D ₁₄₆₀	6,2	5,45	10,14	7,41	18,5
C ₂ =D ₁₆₀₀ /D ₇₂₀	1,04	1,18	0,96	1,18	1,66
C ₃ =D ₈₇₀ /D ₁₆₀₀	1,08	0,90	1,09	1,01	0,68
C ₄ =D ₈₇₀ /D ₁₄₆₀	6,42	4,90	11,07	7,45	12,66
C ₅ =(D ₇₂₀ +D ₁₃₈₀)/D ₁₆₀₀	1,44	1,30	1,49	1,26	0,86

При окислении в гудроне с добавками ароматического основания возрастает содержание в конечном продукте не только ароматических структур, но и ПАУ (показатель C₄ увеличивается в 1,5-2,5 раза). Однако поскольку ПАУ быстрее превращаются в асфальтены, чем моно- и бициклические структуры [14], то показатель C₃ для данного продукта наименьший.

Как видно, масляный компонент битума, полученного при окислении гудрона с добавками

ОТСП и МАЭ-2, характеризуется более высоким содержанием ароматических структур ($C_1 = 18,5$, $C_2 = 1,66$). Следовательно, дисперсионная среда в данной нефтяной дисперсной системе обладает лучшей растворяющей способностью по отношению к асфальтенам, и они подвергаются большему диспергированию в масляных фракциях. Показатель парафинистости масляной фракции данного битума минимальный. Обусловлено это тем, что, содержание ароматических структур в масле возрастает, а содержание парафиновых структур не меняется, поскольку при окислении любого состава сырья содержание и химическая природа парафино-нафтеновых фракций остаются практически неизменными [14].

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании выполненных исследований установлено, что при окислении нефтяного гудрона совместно с добавками-концентрами ароматических соединений, включающими полициклические ароматические углеводороды, в относительно мягких условиях (окисление осуществлялось при температуре 220 °С) синтези-

руются битумные вяжущие, которые по совокупности основных свойств (пенетрация, температура размягчения, температура хрупкости) не уступают промышленному образцу и соответствуют маркам битума БНД 70/100; БНД 50/70. Обусловлено это повышенным содержанием в окисляемом продукте асфальтенов и масляного компонента, с более высоким содержанием ароматических структур. При этом анализ группового и структурно-группового составов битумов, полученных окислением новых сырьевых композиций, показал, что используемые в процессе концентраты ароматических соединений могут эффективно регулировать содержание в битумном вяжущем нейтрального масла, смол, асфальтенов и, соответственно, свойства получаемых продуктов. За счет высокой реакционной способности ПАУ в термоокислительных реакциях с образованием асфальтенов обеспечивается рациональное обезвреживание этих побочных канцерогенных продуктов.

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

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курочкин И.Б. Кондинский НПЗ – пилотный проект безмазутной схемы завода. Опыт проектирования и строительства. *Сфера нефтегаз*. 2011. № 2. С. 50-59.
2. Грудников И.Б. Теория и практика битумного дела. Уфа: нефтегаз. дело. 2013. 420 с.
3. Дезорцев С.В., Петров А.М., Фамутдинов Р.Н., Фасхутдинов А.Г., Теляшев Э.Г., Ахметов А.Ф., Галиев Р.М. О связи стандартных характеристик битумов, полученных окислением нефтяного гудрона с добавкой тяжелого газойля каталитического крекинга. *Башкир. хим. журн.* 2016. Т. 23. № 2. С. 88-95.
4. Хайрудинов И.Р. К вопросу об оптимизации процесса пиролиза углеводородного сырья и эффективного использования получаемых продуктов. *Бутлеров. сообщ.* 2009. Т. 17. № 6. С. 53-59.
5. Жолнеркевич В.И., Грушова Е.И. Использование метода ИК-спектроскопии при анализе эффективности селективной очистки масляных экстрактов. *Изв. вузов. Приклад. химия и биотехнол.* 2021. Т. 11. № 4. С. 673-680. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-673-680.
6. Шалашова А.А., Новоселов А.С., Лазарев М.А., Щепалов А.А. Разработка новых неканцерогенных масел-пластификаторов для шин и каучуков путем компаундирования ароматического и парафинового компонентов. *Изв. вузов. Приклад. химия и биотехнол.* 2017. № 4 (23). С. 87-94. DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-4-87-94.
7. Флисюк О.М., Константинов В.А., Лихачев И.Г., Борисова Е.И. Экстракционная очистка масел-пластификаторов. *Мат. III Межд. Науч. конф. Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса.* СПб.: Изд-во НИЦ Машиностроение. 2020. С. 29-311.

REFERENCES

1. Kurochkin I.B. Kondinsky Oil Refinery is a pilot project of an oil-free scheme of the plant. Experience in design and construction. *Sfera Neftegaz*. 2011. N 2. P. 50-59 (in Russian).
2. Grudnikov I.B. Theory and practice of bitumen business. Ufa: neftegaz. delo. 2013. 420 p. (in Russian)
3. Desortsev S.V., Petrov A.M., Famutdinov R.N., Faskhutdinov A.G., Telyashev E.G., Akhmetov A.F., Galiev R.M. About connections of standard tests of bitumen, obtained by the oxidation oil tar with heavy gas oil of catalytic cracking addition. *Bashkir. Khim. Zhurn.* 2016. V. 23. N 2. P. 88-95 (in Russian).
4. Khayrudinov I.R. On the issue of optimizing the pyrolysis process of hydrocarbon raw materials and the effective use of the resulting products. *Butlerov. Soobshch.* 2009. V. 17. N 6. P. 53-59 (in Russian).
5. Zholnerkevich V.I., Grushova E.I. The use of the IR spectroscopy method in the analysis of the effectiveness of selective purification of oil extracts. *Izv. vuzov. Priklad. Khim. Biotekhnol.* 2021. V. 11. N 4. P. 673-680 (in Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-673-680.
6. Shalashova A.A., Novoselov A.S., Lazarev M.A., Shchepalov A.A. Development of new non-carcinogenic plasticizer oils for tires and rubbers by compounding aromatic and paraffin components. *Izv. vuzov. Priklad. Khim. Biotekhnol.* 2014. N 4. P. 87-94 (in Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-4-87-94.
7. Flisyuk O.M., Konstantinov V.A., Likhachev I.G., Borisova E.I. Extraction purification of plasticizer oils. *Mat. III Interd. Scientific conf. Modernization and innovative development of the fuel and energy complex.* SPb.: Izd-vo NITs Mashinostroenie. 2020. P. 29-311 (in Russian).

8. Грушова Е.И., Ушева О.А., Аль-Разуки А.А. Использование метил-трет-бутилового эфира в экстракционных процессах переработки масляных фракций нефти. *Тр. БГТУ. Сер. 2. Хим. технологии, биотехнологии, геоэкология*. 2019. № 1 (217). С. 32-36.
9. Бурмистрова Д.А., Кузьмин В.В., Смолянинов И.В., Берберова Н.Т. N-метилпирролидон – селективный растворитель окислительной сероочистки легких бензиновых фракций. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 12. С. 57-64.
10. Цао Бо, Челинцев С.Н. Влияние микроволновой обработки товарной тяжелой нефти на ее текучесть. *Химия и технол. топлив и масел*. 2019. № 6 (616). С. 37-41.
11. Цао Бо, Дергунов В.С., Челинцев С.Н. Применение микроволновой технологии для подготовки товарных тяжелых нефтей к перекачке по магистральным трубопроводам. *Химия и технол. топлив и масел*. 2020. № 4. С. 48-52. DOI: 10.1007/s10553-020-01170-2.
12. Хуа и Цзян, Цао Бо. Изменение состава и свойств тяжелых высоковязких нефтей под воздействием микроволнового облучения. *Наука и технол. трубопровод. транспорта нефти и нефтепродукт*. 2013. № 4 (12). С. 20-25.
13. Рыбак М.С. Анализ нефти и нефтепродуктов. М.: ГНТИНГТЛ. 1962. 888 с.
14. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. М.: Химия. 1973. 430 с.
15. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. М.: Химия. 1983. 190 с.
16. Шрубок А.О., Грушова Е.И. Особенности жидкофазного окисления нефтяного гудрона в присутствии модификаторов. *Нефтехимия*. 2017. Т. 57. № 5. С. 545-550. DOI: 10/7868/S0028242117050148.
17. Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. Спектрометрическая идентификация органических соединений. М.: Мир. 1977. 592 с.
18. Глебовская Е.А. Применение инфракрасной спектроскопии в нефтяной геохимии. А.: Недра. 1971. 140 с.
19. Garmarudi A. B., Khanmohammadi M., Fard H. G., de la Guardia M. Origin based classification of crude oils by infrared spectrometry and chemometrics. *Fuel*. 2019. V. 236. P. 1093–1099. DOI: 10.1016/j.fuel.2018.09.013.
20. Васильев А.В., Гриненко Е.В., Щукин А.О., Федулina Т.Г. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений. СПб.: СПбГПТА. 2007. 504 с.
21. Артемьев В.Ю., Григорьев Е.Б., Шигидин О.А. Инфракрасная спектрометрия как один из методов контроля при разработке Ачимовских отложений Уренгойского НГКМ. *Вести газовой науки*. 2013. № 1 (12). С.21-26.
22. Солиенко О.В. Инструментальные методы исследования нефти. Новосибирск: из-во Наука. 1987. С. 18-39.
23. Лескин А.И., Гофман Д.И., Катасонов М.В., Вовко В.В. Инфракрасная спектроскопия в изучении битумов, полученных из отходов нефтепереработки. *Вестн. Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Сер.: Строит. матер. и изд*. 2018. Вып. 52 (71). С. 71-79.
24. Поконова Ю.В. Нефтяные битумы. СПб.: Синтез. 2005. 154 с.
8. Grushova E.I., Usheva O.A., Al-Razuki A.A. The use of methyl tert-butyl ether in the extraction processes of processing oil fractions of oil. *Tr. BGTU. Ser. 2. Khim. Tekhnol., Biotekhnol. Geoekolog*. 2019. N 1 (217). P. 32-36 (in Russian).
9. Burmistrova D.A., Kuzmin V.V., Smolyaninov I.V., Berberova N.T. N-Mp is a selective solvent for oxidative desulfurization of light gasoline fractions. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 12. P. 57-64 (in Russian).
10. Cao Bo, Chelintsev S.N. Influence of microwave processing of heavy stock oil on oil fluidity. *Khim. Tekhnol. Topliv Masel*. 2019. N 6. P. 37-41 (in Russian).
11. Bo C., Dergunov V.S., Chelintsev S.N. Application of microwave technology for the treatment of commercial heavy oils for pumping in trunk pipelines. *Chem. Technol. Fuels Oils*. 2020. V. 56. N 6. P. 580-587. DOI: 10.1007/s10553-020-01170-2.
12. Huayi Jiang, Bo Cao. Composition and property change of heavy high-viscosity oil under the influence of microwave radiation. *Nauka Tekhnol. Truboprovod. Transporta Nefti Tefteprod*. 2013. N 4 (12). P. 20-25 (in Russian).
13. Rybak M.S. Analysis of oil and petroleum products. M.: GNTINGTL. 1962. 888 p. (in Russian).
14. Gun R.B. Oil bitumen. M.: Khimiya. 1973. 430 p. (in Russian).
15. Grudnikov I.B. Production of petroleum bitumen. M.: Kimiya. 1983. 190 p. (in Russian).
16. Shrubok A.O., Grushova E.I. Characteristic features of liquid-phase oxidation of vacuum tower bottoms in the presence of modifiers. *Petrol. Chem*. 2017. V. 57. N 10. P. 868-873. DOI: 10.1134/S0965544117100140.
17. Silverstein R., Webster F., Kiml D. Spectrometric identification of organic compounds. M.: Mir. 1977. 592 p. (in Russian).
18. Glebovskaya E.A. Application of infrared spectroscopy in petroleum geochemistry. A.: Nedra. 1971. 140 p. (in Russian).
19. Garmarudi A. B., Khanmohammadi M., Fard H. G., de la Guardia M. Origin based classification of crude oils by infrared spectrometry and chemometrics. *Fuel*. 2019. V. 236. P. 1093–1099. DOI: 10.1016/j.fuel.2018.09.013.
20. Vasiliev A.V., Grinenko E.V., Shchukin A.O., Fedulina T.G. Infrared spectroscopy of organic and natural compounds. SPb.: SPbGPTA. 2007. 504 p. (in Russian).
21. Artemyev V.Yu., Grigoriev E.B., Shigidin O.A. Infrared spectrometry as one of the control methods in the development of Achimov deposits of the Urengoy NGCM. *Vesti Gaz. Nauki*. 2013. N 1 (12). P. 21-26 (in Russian).
22. Soliyenko O.V. Instrumental methods of oil research. Novosibirsk: izd-vo Nauka. 1987. P. 18-39 (in Russian).
23. Leskin A.I., Gofman D.I., Katasonov M.V., Vovko V.V. Infrared spectroscopy in studying of bitumen received from refinery wastes. *Vestn. Volgograd. Gos. Arkh.-Stroit. Univ. Ser.: Stroit. Mater. Izd*. 2018. V. 52 (71). P. 71-79 (in Russian).
24. Pokonova Yu.V. Oil bitumen. SPb.: Synthesis. 2005. 154 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 30.05.2022

Принята к опубликованию 03.10.2022

Received 30.05.2022

Accepted 03.10.2022