

На основании результатов исследования можно сделать вывод, что описанный подход может быть применен при решении аналогичных задач оптимизации разработки, например: распределение отборов и закачки в системах одновременно-раздельной добычи / закачки, подбор оптимальных фильтрационных сопротивлений скважинных устройств контроля притока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Guliev R., Zolotukhin A. Field development optimization of waterflooding process using data assimilation methods // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 1 (700). С. 012054.

2. Canchumun S.W.A. [и др.]. Recent Developments Combining Ensemble Smoother and Deep Generative Networks for Facies History Matching, 2020.

3. Emerick A.A., Portella R.C.M. Production Optimization With Intelligent Wells, SPE, 2007.

4. Meum P. [и др.]. Optimization of Smart Well Production through Nonlinear Model Predictive Control, SPE, 2008.

5. Oliver D.S., Reynolds A.C., Liu N. Inverse Theory for Petroleum Reservoir Characterization and History Matching / D.S. Oliver, A.C. Reynolds, N. Liu, Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

6. Гулиев Р.З. Использование генеративно-состязательных сетей в качестве метода генерации фаций для воссоздания геологической неоднородности пласта // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2023. (4). С. 27–35.

УДК 665.52.061.5

Гайле А.А., Карнаух В.С.

(Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический университет))

Камешков А.В.

(ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез»)

ЭКСТРАКЦИОННАЯ ОЧИСТКА ЛЕГКОГО ГАЗОЙЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА СМЕСЯМИ N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНА С ЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ

Ранее в СПбГТИ(ТУ) исследована экстракционная очистка вакуумных газойлей и газойлей вторичных процессов нефтепереработки с целью получения компонентов судовых топлив, удовлетворяющих экологическим требованиям по содержанию серы – не более 0,5 % мас., с пониженным содержанием азотистых компонентов и полиароматических углеводородов и хорошими цетановыми характеристиками [1].

Установлено, что экстракционная очистка газойлей висбрекинга и в особенности замедленного коксования значительно более эффективна, чем прямогонных вакуумных газойлей – при низких соотношениях экстрагентов N-метилпирролидона (N-МП) или N,N-диметилформамида (ДМФА) к сырью. Это обусловлено повышенным содержанием в газойлях термических процессов гетероциклических соединений ароматического характера, а также аренов с короткими алкильными заместителями, более термически стабильных по сравнению с насыщенными сернистыми соединениями и наиболее легко экстрагирующихся апротонными селективными растворителями.

Исследована также экстракционная очистка газойлей каталитического крекинга, отличающихся наиболее высоким содержанием полиароматических углеводородов, в связи с чем для образования гетерогенной системы в качестве экстрагентов использованы ДМФА с 5 % мас. воды и N-МП с 10 % мас. воды [2]. Однако повышенное содержание воды в этих растворителях нежелательно из-за возможного гидролиза ДМФА с образованием муравьиной кислоты и гидролиза продукта окисления N-МП – N-метилсукцинимиды с образованием янтарной кислоты, вызывающих коррозию оборудования. Так, в процессе Arosolvan при экстракции аренов C₆ – C₈ из катализаторов риформинга вместо использовавшегося сначала водного N-МП стали применять смеси N-МП – этиленгликоль (ЭГ) состава 60/40 % мас.

Цель данной работы – установление возможности получения компонента судового топлива с содержанием серы 0,5 % мас. экстракционной очисткой легкого газойля каталитического крекинга (ЛГКК) смесями N-МП – ЭГ различного состава. Параметры опытов экстракции приведены в таблице 1. Опыты двух- и трехступенчатой экстракции проводили в перекрестном токе.

Результаты экстракционной очистки ЛГКК представлены в таблице 2. По степени извлечения экстрагируемые компоненты располагаются в следующий ряд, аналогичный ранее установленной последовательности при одноступенчатой экстракционной очистке газойлей термических процессов нефтепереработки [1]: азотистые соединения > три⁺-арены > сернистые соединения > диароматические углеводороды (ДАУ) > олефины > моноароматические углеводороды (МАУ).

Объяснение этой последовательности приведено в обзоре [1]. Степень извлечения олефинов рассчитана с учетом, что они представлены моноалкенами. В действительности при каталитическом крекинге образуются и диеновые углеводороды, причем сравнительно низкокипящие, коэффициенты активности которых в полярных растворителях могут быть ниже, чем гибридных моноаренов, содержащих несколько насыщенных циклов.

Как следует из таблицы 2, при трехступенчатой экстракции в перекрестном токе экстрагентом состава N-МП – ЭГ 70/30 % мас. содержание серы снижается в 3.3 раза в рафинате по сравнению с сырьем. Выход рафината возможно существенно повысить при противоточной экстракции в экстракторе эффективностью 5-6 теоретических ступеней, обычной при селективной очистке масляных фракций. Соотношение экстрагента к ЛГКК 1 : 1 мас. ниже, чем при производстве смазочных масел.

Содержание серы в рафинате опыта 5 несколько выше 0,5 % мас., но смешением его с рафинатом еще более легко обессеривающегося экстракцией легкого газойля замедленного коксования возможно получение судового топлива с высоким цетановым индексом, удовлетворяющего требованиям по содержанию сернистых компонентов.

Таблица 1 – Параметры экстракционной очистки ЛГКК смесями N-метилпирролидона с этиленгликолем при массовом отношении экстрагент : сырье 1 : 1 и температуре 40 °С

Параметры экстракции	Номер опыта				
	1	2	3	4	5
Содержание ЭГ в смешанном экстрагенте, % мас.	20	30	40	30	30
Число теоретических ступеней экстракции	1	1	1	2	3

Таблица 2 – Характеристика ЛГКК и рафинатов экстракционной очистки

Показатель	ЛГКК	Рафинаты опытов				
		1	2	3	4	5
Выход рафината, % мас.	–	34,7	46,2	64,1	39,2	33,1
Показатель преломления, n_D^{24}	1,5420	1,5040	1,5130	1,5240	1,4940	1,4820
Плотность, $г \cdot см^{-3}$, при 24 °С	0,9340 (20 °С)	0,8624	0,8737	0,8854	0,8602	0,8519
при 15 °С	0,9370	0,8686	0,8798	0,8913	0,8664	0,8582
Содержание серы, % мас.	2,10	1,16	1,35	1,62	0,924	0,642
Содержание азота, ppm	880	173	212	295	62	–
Содержание аренов, % мас.	71,1	49,2	59,0	62,1	45,7	24,8
в том числе: МАУ	21,4	20,7	23,8	22,6	22,4	21,2
ДАУ	39,0	26,0	31,8	35,4	21,7	3,2
Три ⁺ -	10,7	2,5	3,4	4,1	1,6	0,4
Бромное число, г Br ₂ /100 г	12,3	10,6	10,5	9,4	10,9	12,3
Цетановый индекс	31,1	47,7	44,5	41,4	48,3	50,8
Степень извлечения, % мас.:						
сернистых соединений	–	80,8	70,3	50,6	82,8	89,9
азотистых соединений	–	93,2	88,9	78,5	97,2	–
МАУ	–	66,4	48,6	32,3	69,0	67,2
ДАУ	–	76,9	62,3	41,8	78,2	97,3
Три ⁺ -аренов	–	91,9	85,3	75,4	94,1	98,8
олефинов	–	70,1	60,6	51,0	65,3	66,9

ЛИТЕРАТУРА

1. Gaile A.A., Kameshkov A.V., Klement'ev V.N., Vereshchagin A.V. Production of Marine Fuel Components by Extraction Treatment of Vacuum Gasoils and Gasoils from Secondary Oil Refining Processes (A Review) // *Pet. Chem.* – 2023. – Vol. 63. – № 3. – P. 489-509. <https://doi.org/10.1134/S0965544123040047>
2. Камешков А.В., Гайле А.А., Карнаух В.С., Волков Д.А. Экстракционная очистка легкого газойля каталитического крекинга N,N-диметилформамидом и N-метилпирролидоном // *Нефтепереработка и нефтехимия.* – 2023. – № 4. – С. 24-28.

УДК 621.371: 550.837.6

Янушкевич В.Ф., Раскин В.И.

(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

МЕТОДЫ ПОИСКА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Актуальность приведенных в настоящей работе исследований определяется повышенными требованиями современной электроразведки к точности поиска и определения границ углеводородных залежей (УВЗ) [1 - 3]. Тенденции модификации электромагнитных методов поиска основываются на построении электродинамических моделей скоплений нефти и газа и получения откликов на зондирующее воздействие. Известны результаты моделирования сочетанием трехмерного конечно-элементного метода во временной области и трехмерного конечно-разностного метода в частотной области с использованием поверхностных гальванических источников в режимах радиальной и поперечной поляризации со скважинными приемниками [4]. Электродинамический отклик зондирующих сигналов определяется электрохимическими и электрофизическими процессами с образованием на границе с воздушным пространством промежуточной области, характеризующейся избытком свободных электронов при воздействии высокой температуры и пластовых давлений над залежью углеводородов [5, 6].

Были проведены экспериментальные исследования поверхностного импеданса среды над УВЗ в режиме амплитудно-частотно-модулированных сигналов (АЧМ) [1] с применением системы для реализации фазовых измерений (рис.1). Использование данного вида взаимодействия сигналов с УВЗ позволит повысить информативность методов поиска и идентификации.