

УДК 665.6.03

ОЗОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНОГО БИТУМА МЕСТОРОЖДЕНИЯ МУНАЙЛЫ МОЛА

Е.К. Онгарбаев¹, Ф.Б. Бизакова¹, Е.И. Иманбаев¹, Е. Тилеуберди¹, Е.А. Акказин¹,
А.К. Головкин², З.А. Мансуров³

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050040, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

²Институт химии нефти СО РАН, 634021, пр. Академический, 4, Томск, Россия

³Институт проблем горения, 050012, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан

Аннотация

Представлены результаты исследования взаимодействия озono-кислородной смеси в реакторе барботажного типа с природным битумом месторождения Мунайлы Мола. Выполнены эксперименты по обработке озono-кислородной смесью природного битума и установлены оптимальные условия озонирования. Выявлено максимально возможное количество озона, которое способно вступить в химическое взаимодействие с битумом. Проведен анализ продуктов озонирования и крекинга озонированного битума. Выявлены зависимости химического состава и свойств образцов «синтетических нефтей» от условий обработки битума озono-кислородной смесью и последующего крекинга. Выявлены направления трансформации кислородсодержащих структур в процессе озонирования природного битума. Установлены изменения физико-химических показателей продуктов озонирования. Установлено, что предварительная обработка битума месторождения Мунайлы Мола озонem (6 г/кг битума) с последующим крекингом приводит к существенному уменьшению коксообразования, получению значительных количеств жидких продуктов крекинга (более 97 %) с меньшим содержанием смол (на 20,5 мас. %). Проведенные исследования показали принципиальную возможность окисления природных битумов озонem с увеличением количества смолисто-асфальтеновых веществ за счет конденсации этих соединений и получением продуктов, близких по свойствам к дорожным битумам.

Ключевые слова: природный битум, озонирование, крекинг, окисление, нефтебитуминозные породы, озон, синтетическая нефть, смолы, асфальтены.

Введение

В настоящее время исследователями уделяется большое внимание процессам переработки нефтяных остатков, в частности процессам окисления с целью получения дорожных битумов [1]. Одним из перспективных путей совершенствования технологии окисления тяжелых нефтяных остатков является использование в качестве окисляющего агента озона.

Озонирование нефтяного сырья впервые предложено учеными Института химии нефти СО РАН в 1978 г. и получило развитие в последующие годы [2]. Было установлено, что озон практически не реагирует с нефтяными алифатическими углеводородами, но чрезвычайно быстро взаимодействует с сернистыми и ароматическими соединениями [3]. Озонировать можно не только сырую тяжелую нефть, но и остаточные продукты переработки нефти (мазуты, гудроны, вакуумные нефтяные остатки), тем самым последующим крекингом повышая удельный выход целевых продуктов из нефти [4].

В настоящее время применение озонных технологий широко используется в процессах

очистки питьевой и сточных вод. В процессах нефтепереработки озон до сих пор не применяется. В связи с созданием промышленных генераторов озона нового поколения, компактных и экономичных, позволяющих в 4-5 раз снизить удельные энергозатраты [5], возможность практического использования озона в процессах каталитического окисления тяжелых нефтяных остатков не представляется проблематичной.

Целью данной работы являлось изучение воздействия озono-кислородной смеси на природный битум месторождения Мунайлы Мола Республики Казахстан.

Экспериментальная часть

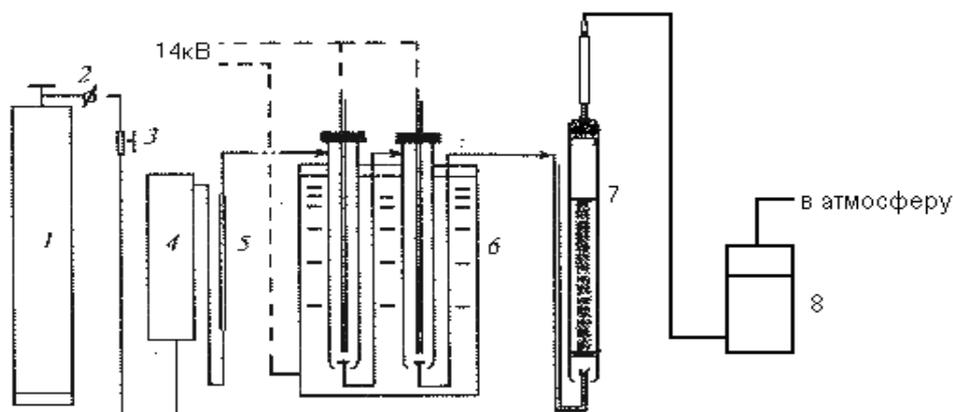
Наработка необходимого количества битума месторождения Мунайлы Мола проводилась методом экстракции. В аппарат Сокслета загружалась навеска нефтебитуминозной породы, экстракцию проводили с использованием хлороформа – для обеспечения полноты выделения компонентов природных битумов. Далее хлороформ отгоняли, полученный битум сушили в вакуумном сушильном шкафу до

постоянного веса выделенной массы органического вещества. Полноту удаления растворителя дополнительно подтверждали методом ИК-спектроскопии по отсутствию полосы при 1200 см^{-1} . Средний выход битума месторождения Мунайлы Мола составил 13,5 мас. %.

Для проведения процесса озонирования была спроектирована и изготовлена установка для окисления углеводородного сырья озono-кислородной смесью.

Принципиальная схема установки для озонирования в режиме барботажа показана на рис. 1. Обработка озono-кислородной смесью исходного сырья на лабораторной установке, оснащенной реактором барботажного типа, осуществлялась при объемной скорости подачи газовой смеси $31,15 \text{ дм}^3/\text{ч}$. Сжатый кислород из баллона (1) через редуктор давления (2) и игольчатый вентиль (3) подавался в систему осушки и очистки газа (4), включающую поглотители с серной кислотой и активирован-

ым силикагелем, и затем через ротаметр (5) в генератор озона (6), представляющий собой батарею из 12 трубок Бергло, питающихся параллельно переменным напряжением 14 кВ от повышающего трансформатора. Полученную озono-кислородную смесь, содержащую $3,66 \text{ г/л O}_3$, подавали в реактор (7), где барботировали сквозь слой сырья. Высота реактора составляла 350 мм, внутренний диаметр – 20 мм. Внизу реактора встроен фильтр Шотта, который создавал поток мелких пузырьков для увеличения контакта газовой фазы с жидкой и способствовал интенсивному их барботажу через слой жидкости. Таким образом, несмотря на то, что реакция гетерофазная (газ-жидкость), геометрия реактора позволяла добиться очень развитой поверхности разделения фаз, что приводит к полному поглощению озона в эксперименте.



1 – баллон со сжатым кислородом, 2 – редуктор давления, 3 – вентили точной регулировки, 4 – система осушки и очистки газа, 5 – ротаметр, 6 – генератор озона, 7 – реактор, 8 – анализатор озона «Циклон 5.11»

Рис. 1 – Принципиальная схема установки озонирования углеводородного сырья в барботажном реакторе

Отработанный газ поступал в анализатор озона. Масса сырья, загружавшегося в реактор, составляла 20 г, время просакивания пузырьков газа сквозь слой (время контакта фаз) – около 1 с. Для достижения требуемого количества поглощенного озона (1-15 г/кг образца) варьировалось время окисления озono-кислородной смесью.

Контроль количества поглощенного озона осуществлялся на приборе «Циклон 5.11». Суть метода заключается в избирательном поглощении озона УФ-излучением с длиной волны 254 нм. Вследствие высокой вязкости исходных образцов озонирование битума проводили при температуре $90 \text{ }^\circ\text{C}$.

Элементный анализ объектов исследова-

ния устанавливали на CHNS анализаторе Vario EL Cube.

Для оценки фракционного состава образцов нефти и природных битумов использовали термогравиметрический метод анализа (ТГА), который проводили на дериватографе фирмы MOM (Венгрия), позволяющем фиксировать изменения массы образца аналитической пробы с повышением температуры в процессе нагрева до $350 \text{ }^\circ\text{C}$ со скоростью $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$. При температурах до $350 \text{ }^\circ\text{C}$ погрешность метода для подобных объектов составляет не более 2,0 %, что позволяет применять этот способ для оценки фракционного состава продуктов крекинга.

Асфальтены получали осаждением 40-кратным объемом н-гексана. Деасфальтенизированные образцы наносили на силикагель АСК, после чего последовательно экстрагировали в аппарате Сокслета на углеводородные компоненты (масла) н-гексаном и смолы, выделяемые смесью бензол:этанол (1:1 по объему).

ИК-спектры исходного сырья и продуктов озонирования снимали на спектрометре Infracum FT-801. Интенсивность полос поглощения в спектрах оценивали по максимумам пиков, при определении положения фоновых линий учитывали вклады наложения соседних полос.

Результаты и их обсуждение

Для оценки влияния озонирования на физико-химические характеристики битума месторождения Мунайлы Мола были определены следующие показатели: плотность, температура размягчения по КиШ, содержание смолисто-асфальтеновых компонентов и серы. Был проанализирован исходный битум, продукт обработки максимально возможным количеством озона (35 г/кг битума), жидкий продукт крекинга (450 °С, 60 мин) озонированного битума.

Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические характеристики исследуемых образцов

Показатели	Исходный битум	Озонированный битум	Продукт крекинга озонированного битума
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1018,7	1017,5	951,4
Температура размягчения, °С	46,0	35,0	жидкий
Содержание асфальтенов, мас. %	6,05	26,39	7,00
Содержание смол силикагелевых, мас. %	46,37	27,81	10,68
Содержание общей серы, мас. %	1,0180	0,8015	0,4400

Озонирование битума приводит к незначительному снижению плотности, термообработка продуктов озонирования позволяет существенно снизить плотность жидких продуктов крекинга. Температура размягчения продуктов озонирования снижается по сравнению с исходным битумом, продукты крекинга представляют собой жидкость при стандартных условиях. Содержание серы в озонированном битуме снижается на 20 мас. %, крекинг продуктов озонирования приводит к снижению содержания серы более чем в два раза по сравнению с первоначальным значением. Существенно меняется в процессе озонирования групповой состав битума: увеличивается содержание асфальтенов и уменьшается содержание силикагелевых смол. Это объясняется глубоким окислением компонентов исход-

ного битума (преимущественно смол), соосаждающихся с асфальтенами под действием неполярных растворителей (н-гексан).

Предварительные эксперименты по оценке обработки озono-кислородной смесью битума месторождения Мунайлы Мола на физико-химические показатели продуктов были выполнены при расходе озono-кислородной смеси 10,9 г озона/кг битума. Состав продуктов крекинга озонированного битума (450 °С, 60 мин, таблица 2) существенно отличается от состава исходного битума и продуктов термокрекинга. Наблюдается увеличение количества масел в жидких продуктах крекинга (на 14 % больше, чем в исходном битуме), содержание смол уменьшается на 20 %, асфальтенов – увеличивается на 4 %, суммарное количество газа и кокса не превышает 2,5 мас. %.

Таблица 2 – Материальный баланс и вещественный состав продуктов крекинга битума

Образец	С _{общ} в маслах, мас. %	Выход, % мас.			Состав жидких продуктов, мас. %		
		газ	жидкие	кокс	масла	смолы	асфальтены
Исходный битум	0,7	0,00	100,00	0,00	47,58	46,37	6,05
Продукт крекинга битума	0,57	0,20	73,60	26,20	61,54	9,85	2,21
Продукт крекинга озонированного битума	0,78	0,10	97,65	2,25	61,49	25,84	10,32

Анализ фракционного состава продуктов крекинга битума Мунайлы Мола (таблица 3) показал, что во всех экспериментах происходит снижение температуры начала кипения по сравнению с исходным битумом. Максимальный прирост содержания дистиллятных фракций установлен в продуктах термокрекинга

битума и продуктах озонирования битума: содержание фракции НК-200 увеличилось на 4,5 %, а фракции 200-360 – на 10 мас. %. Следует отметить, что жидкие продукты крекинга озонированного битума Мунайлы Мола содержат значительно больше газойлевых и масляных дистиллятов, чем продукты термокрекинга.

Таблица 3 – Фракционный состав продуктов крекинга озонированного битума

Образец	T _{н.к.} , °C	Содержание фракций, мас. %		
		Н.К.-200°C	200-360 °C	> 360 °C
Исходный битум	96,5	2,2	15,6	82,2
Продукт крекинга битума	92,0	6,8	25,2	41,6
Продукт крекинга озонированного битума	90,1	6,7	24,7	66,2

Для выявления зависимости состава продуктов озонирования и последующего крекинга битума Мунайлы Мола от количества поглощенного озона были наработаны образцы с различной глубиной окисления (6,1-35,0 г озона/кг битума).

Установлено, что с увеличением глубины озонирования незначительно снижается содержание масел, количество серы в маслах уменьшается на четверть, вероятно вследствие больших скоростей окисления серосодержащих соединений по сравнению с их углеводородными аналогами и попаданию высокополярных продуктов окисления в состав смол. На 40 % уменьшается количество смол, продукты глубокого окисления которых, не растворяясь в гексане, увеличивают в 6,5 раз количество асфальтенов в продуктах озонирования. В составе продуктов крекинга с увеличением глубины озонирования растут выходы газа (до 10 %) и кокса (до 24 мас. %). Количество масел проходит через экстремум (при 10,9 г озона), содержание серы в маслах в этих условиях максимально, что свидетельствует о термодеструкции продуктов озонирования серосодержащих компонентов масел и смол, с дальнейшим попаданием низкомолекулярных сернистых соединений в состав масел.

Содержание смол в продуктах крекинга

монотонно снижается вследствие частичной деструкции с образованием низкомолекулярных компонентов и, в большей степени, из-за протекания реакций конденсации по маршруту смолы → асфальтены → кокс. Количество асфальтенов в продуктах крекинга не превышает 10 мас. %, уменьшаясь с увеличением глубины предварительного озонирования, количество кокса – увеличивается. Стоит отметить, что суммарное количество кокса и асфальтенов в продуктах крекинга озонированного битума увеличивается с увеличением глубины озонирования, что свидетельствует о значительном облегчении протекания реакций крекинга компонентов озонированного битума.

Установлено, что максимальное количество поглощенного битумом Мунайлы Мола озона составляет 35 г/кг битума. Состав продуктов озонирования битума (максимальный расход озона, таблица 4) значительно отличается от состава исходного битума – на 2 % снижается содержание масел, на 18,5 мас. % – количество смол. Происходит значительное увеличение асфальтеноподобных компонентов (более чем в 4 раза). Сравнение состава продуктов крекинга (450 °C, 60 мин) озонированного битума (расход озона 10,9 г/кг битума) и термокрекинга позволило выявить существенные отличия.

Таблица 4 – Материальный баланс и вещественный состав (в пересчете на выход жидких продуктов крекинга) продуктов крекинга битума

Образец	S _{общ} в маслах, % мас.	Выход, % мас.			Состав жидких продуктов, мас. %		
		газ	жидкие	кокс	масла	смолы	асфальтены
Исходный битум	0,70	0,00	100,00	0,00	47,58	46,37	6,05
Битум после крекинга	0,57	0,20	73,60	26,20	61,54	9,85	2,21
Продукт озонирования (6,1 г/кг)	0,69	0,00	100,00	0,00	47,59	43,12	9,29
Продукт озонирования (10,9 г/кг)	0,67	0,00	100,00	0,00	47,56	40,01	12,43
Продукт озонирования (17,9 г/кг)	0,64	0,00	100,00	0,00	47,01	37,15	15,84

Продукт озонирования (25,2 г/кг)	0,60	0,00	100,00	0,00	46,43	33,82	19,75
Продукт озонирования (35,0 г/кг)	0,53	0,00	100,00	0,00	45,80	27,81	26,39
Продукт крекинга озонированного (6,1 г/кг) битума	0,71	0,10	97,69	2,21	58,77	31,33	7,55
Продукт крекинга озонированного (10,9 г/кг) битума	0,78	0,10	97,65	2,25	61,49	25,84	10,32
Продукт крекинга озонированного (17,9 г/кг) битума	0,65	3,82	88,03	8,15	58,40	19,62	10,01
Продукт крекинга озонированного (25,2 г/кг) битума	0,61	7,23	76,85	15,92	55,37	13,20	8,28
Продукт крекинга озонированного (35,0 г/кг) битума	0,59	9,7	66,1	24,2	54,4	7,06	4,6

Наблюдается значительное снижение выхода кокса (в 12 раз) по сравнению с составом продуктов термокрекинга, вследствие значительного замедления реакций конденсации смолистых компонентов в асфальтены и далее в кокс.

По сравнению с составом исходного битума умеренное озонирование с последующей термообработкой позволяет увеличить количество масел в жидких продуктах крекинга (на 14 % больше, чем в исходном битуме), содержание смол снизить на 20 %, асфальтенов, при суммарном количестве газа и кокса 2,5 мас. %.

Крекинг продуктов озонирования битума Мунайлы Мола с максимальным расходом озона (35 O₃ г/кг) битума приводит к образованию значительных количеств газа (до 10 %) и кокса (содержание на уровне продуктов термокрекинга битума).

Содержание масел меньше, чем в продуктах крекинга, озонированного (10,9 г/кг) битума, вероятно вследствие деструкции масел с

образованием газа. Содержание смол и асфальтенов минимально, что объясняется значительным облегчением протекания реакций конденсации смол в асфальтены и далее в кокс под действием значительных количеств озона.

Таким образом, оптимальными условиями для получения наибольших количеств дистиллятных фракций при переработке битума Мунайлы Мола является предварительная обработка озono-кислородной смесью (расход 11 г озона/кг битума) с последующей термообработкой (450 °С, 60 мин).

Методом ИК-спектроскопии исследован исходный битум, продукты его взаимодействия с озono-кислородной смесью и продукты крекинга озонированного битума.

Полученные данные позволяют делать выводы о трансформации гетерофункций в процессе озонирования посредством сравнения ИК-спектров исходного и озонированного битума (рис. 2-4).

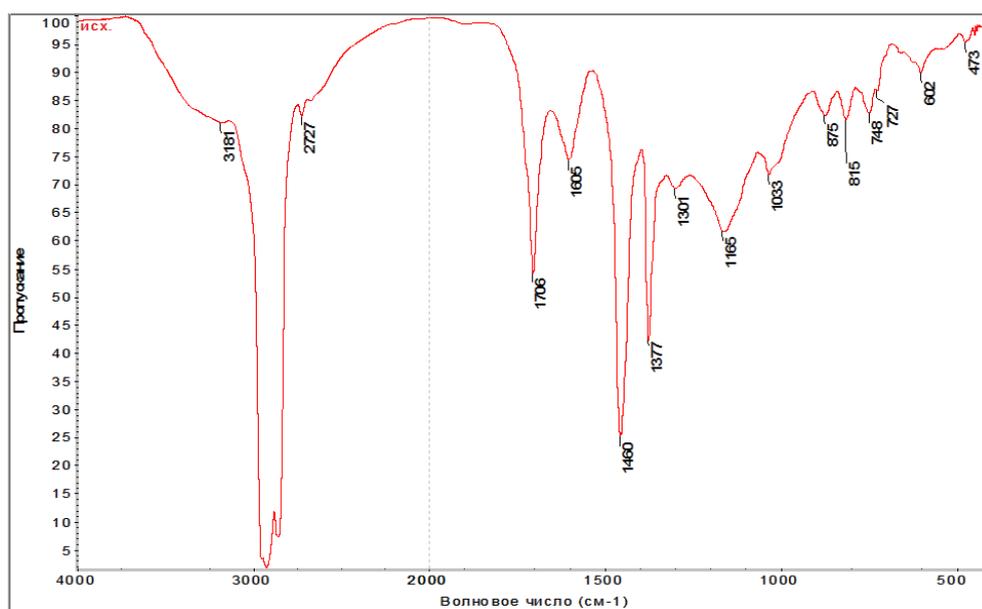
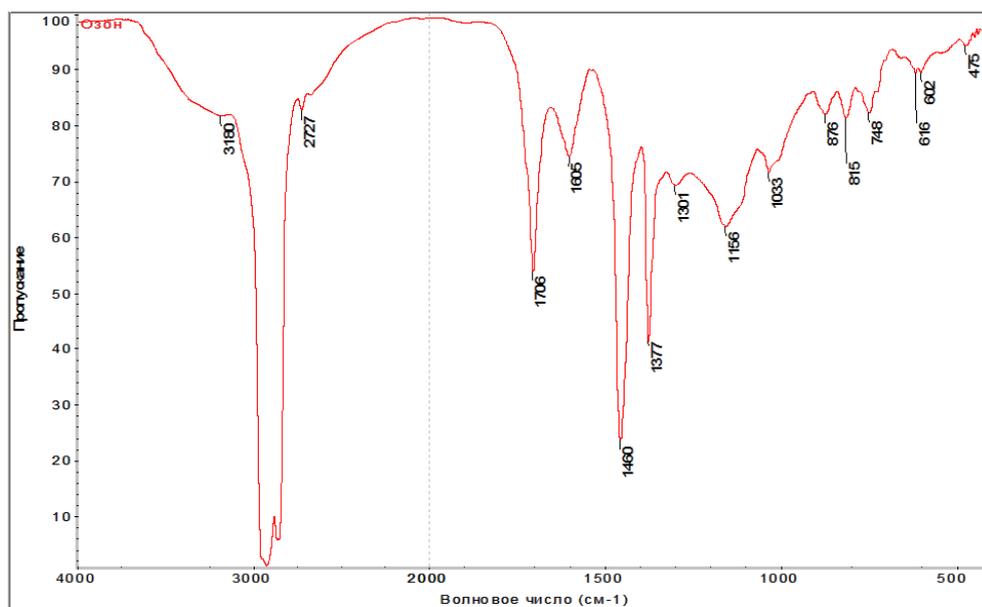
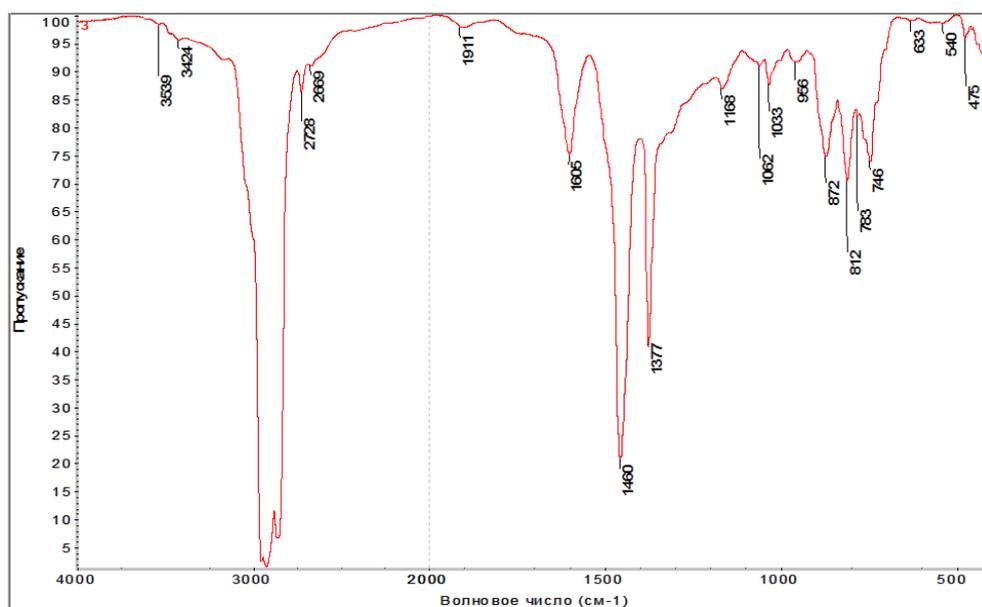


Рис. 2 – ИК-спектр исходного битума месторождения Мунайлы Мола

Рис. 3 – ИК-спектр продукта озонирования битума месторождения Мунайлы Мола (35 г О₃/кг битума)Рис. 4 – ИК-спектр жидкого продукта крекинга озонированного битума месторождения Мунайлы Мола (35 г О₃/кг битума)

Вследствие высокой окисленности исходного битума, ИК-спектры собственно битума и продуктов озонирования (рисунки 2 и 3) практически не отличаются.

В ИК-спектрах исходного и озонированного битума присутствует полоса (1033 см⁻¹), суммирующая поглощение группы S=O сульфоксидов и озонидных кислородных мостиков O-O [6], полоса с максимумом при 1300 см⁻¹, которая является, видимо, суммой валентных колебаний S=O группы сульфонов и деформационных колебаний C-O связей спиртов, полоса поглощения с максимумом 1150-1160 см⁻¹

(колебания C-O связей простых и сложных эфиров).

На всех спектрах наблюдаются полосы с максимумами близ 1600 см⁻¹ (симметричные валентные колебания C-C связей бензольных колец), полоса поглощения, характерная для карбонильного хромофора (валентные колебания, около 1700 см⁻¹), широкий сигнал около 3200 см⁻¹, отвечающий колебаниям OH групп карбоновых кислот [7].

В продуктах крекинга озонированного битума (рис. 4) исчезают полосы поглощения кислородсодержащих функциональных групп

(3200 см⁻¹, 1700 см⁻¹ и 1300 см⁻¹), интенсивность полосы поглощения сульфоксидной группы значительно снижается. Это свидетельствует о деструкции гетероатомных компонентов в процессе крекинга озонированного битума.

Заключение

Таким образом, на примере битума месторождения Мунайлы Мола показано, что при озонировании плотность и температура размягчения продуктов незначительно снижается, значительно увеличивается содержание смол. Установлены оптимальные условия получения наибольших количеств дистиллятных фракций при переработке битума Мунайлы Мола: предварительная обработка озон-кислородной смесью (расход 11 г озона/кг битума) с последующей термообработкой (450 °С, 60 мин). Установлено, что с увеличением глубины озонирования в продуктах крекинга битума месторождения Мунайлы Мола незначительно снижается содержание масел, на 40 % отн. уменьшается количество смол, увеличивается в 6,5 раз количество асфальтенов. Выявлены пути трансформации гетерофункций в процессе озонирования битума месторождения Мунайлы Мола.

Литература

- 1 Онгарбаев Е.К., Досжанов Е.О., Мансуров З.А. Переработка тяжелых нефтей, нефтяных остатков и отходов. – Алматы: Казак университеті, 2011. – 254 с.
- 2 Камьянов В.Ф., Елисеев В.С., Кряжев Ю.Г. и др. // Нефтехимия. – 1978. – Т. 18. – № 1. – С. 138-144.
- 3 Разумовский С.Д., Заиков Г.Е. Озон и его реакции с органическими соединениями. – М.: Наука, 1974. – 322 с.
- 4 Камьянов В.Ф., Лебедев А.К., Свирилов П.П. Озолиз нефтяного сырья. – Томск: МГП «Раско», 1997. – 271 с.
- 5 Пискарев И.М. и др. // Журнал физической химии. – 2008. – Т. 82. – № 9. – С.1754-1758.
- 6 Накасини К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. Практическое руководство. - М.: Мир, 1965. – 216 с.
- 7 Кривцов Е.Б., Свириденко Н.Н., Головки А.К. Иницированный крекинг природного битума для увеличения выхода дистиллятных фракций // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 3. – С. 37-42.

МУНАЙЛЫ МОЛА КЕН ОРНЫНЫҢ ТАБИҒИ БИТУМЫН ОЗОНДАУ

Е.К. Онгарбаев¹, Ф.Б. Бизакова¹, Е.И. Иманбаев¹, Е. Тілеуберді¹, Е.А. Аққазин¹,
А.К. Головки², З.А. Мансуров³

¹Әл-Фараби атындағы Қазак ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазакстан

²РҒА СБ мұнай химиясы институты, 634021, Академия даңғылы, 4, Томск, Ресей

³Жану проблемалары институты, 050012, Бөгенбай батыр к-сі, 172, Алматы, Қазакстан

Аннотация

Озон-оттек қоспасының барботажды типті реакторда Мұнайлы Мола кен орнының табиғи битумымен әрекеттесуін зерттеу нәтижелері келтірілген. Табиғи битумды озон-оттек қоспасымен өңдеу тәжірибелері жүргізіліп, озондаудың оңтайлы шарттары анықталды. Битуммен химиялық әрекеттесуге түсуге қабілетті озонның максималды мүмкін мөлшері анықталды. Озондау және озондалған битумның крекинг өнімдерінің анализі жүргізілді. «Синтетикалық мұнайдың» химиялық құрамы мен қасиеттерінің битумды озон-оттек қоспасымен өңдеу және крекинг шарттарына тәуелділіктері табылды. Табиғи битумды озондау процесінде оттекті құрылымдардың түрлену бағыттары анықталды. Озондау өнімдерінің физика-химиялық көрсеткіштерінің өзгерістері табылды. Мұнайлы Мола кен орнының битумын озонмен (6 г/кг битум) алдын-ала өңдеп, сосын крекинг өткізу кокс түзілуін айтарлықтай азайтып, шайыр мөлшері аз (20,5 мас. %-ға аз) крекингтің сұйық өнімдерінің айтарлықтай мөлшерін (97 %-дан көп) алуға мүмкіндік беретіні анықталды. Жүргізілген зерттеулер табиғи битумдарды озонмен тотықтырып, шайырлы-асфальтенді заттардың мөлшерін көбейтуге және осы қосылыстардың конденсациясы есебінен қасиеттері жол битумдарына жақын өнімдерді алу мүмкіндігін көрсетті.

Түйіндік сөздер: табиғи битум, озондау, крекинг, тотықтыру, мұнайбитумды жыныстар, озон, синтетикалық мұнай, шайырлар, асфальтендер.

OZONATION OF MUNAILY MOLA NATURAL BITUMEN

Ye.K. Ongarbayev¹, F.B. Bizakova¹, Ye.I. Imanbayev¹, Ye. Tileuberdi¹, Ye.A. Akkazin¹,
A.K. Golovko², Z.A. Mansurov³

¹Al-Farabi Kazakh National University, 050040, Al-Farabi Pr., 71, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Petroleum Chemistry of SB RAS, 634021, Akademichesky Av., 4, Tomsk, Russia

³Institute of Combustion Problems, 050012, Bogenbay batyr Str., 172, Almaty, Kazakhstan

Abstract

The results of studies of the interaction of ozone-oxygen mixture in a bubbling type reactor with natural bitumen of the Munaily Mola deposit are presented. Experiments on treatment of ozone-oxygen mixture of natural bitumen are carried out and optimum conditions of ozonation are set. Maximum possible amount of ozone that is able to enter into chemical interaction with the bitumen is identified. The analysis of the products of ozonation and cracking of ozonated bitumen is carried out. The dependences of the chemical composition and properties of the «synthetic oil» samples from bitumen processing conditions of an ozone-oxygen mixture and subsequent cracking are identified. Directions of transformation of oxygen-containing structures in the ozonation of natural bitumen are identified. Changes of physical and chemical parameters of the ozonation products are established. It is found that pretreatment Munaily Mola bitumen ozone (6 g/kg of bitumen), followed by cracking results in a substantial reduction of coke formation, obtaining significant quantities of liquid cracking products (over 97 %) with a lower resin content (20,5 mass %). Studies have shown the fundamental possibility of oxidation of natural bitumen ozone with increasing amounts of resin-asphaltene compounds by condensation of these compounds and the products that are similar in properties to the road bitumen.

Keywords: natural bitumen, ozonation, cracking, oxidation, oil sands, ozone, synthetic petroleum, resins, asphaltenes.