

УДК 665.7.035

ТОПЛИВО СУДОВОЕ МАЛОВЯЗКОЕ НА БАЗЕ ТЯЖЕЛЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ ВТОРИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ. ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

© 2020 г. Ж. Н. Артемьева^{1, *}, С. Г. Дьячкова^{2, **}, И. Е. Кузора¹,
Т. И. Вакулская^{3, ***}, Д. В. Павлов³, М. А. Лонин¹

¹АО “Ангарская нефтехимическая компания”, Ангарск, Иркутская область, 665830 Россия

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, 664074 Россия

³Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск, 664033 Россия

* E-mail: artemevazn@anhk.rosneft.ru

** E-mail: dyachkova@istu.edu

*** E-mail: vakulskaya@iriioch.irk.ru

Поступила в редакцию 20.09.2019 г.

После доработки 21.04.2020 г.

Принята к публикации 12.05.2020 г.

Методом математического моделирования, с использованием в качестве критичных показателей температуры застывания, массовой доли серы и плотности, найдены оптимальные рецептуры топлива маловязкого судового (ТМС) с вовлечением тяжелых дизельных фракций вторичного происхождения, депрессорно-диспергирующей и антиокислительной присадок. Экспериментально полученные характеристики лабораторных образцов ТМС, приготовленных по расчетным рецептурам, хорошо коррелируют с теоретическими данными и соответствуют требованиям нормативных документов. Показана возможность вовлечения тяжелых дистиллятов производства АО “АНХК” в ТМС. Антиокислительная присадка (АОП) Kerobit TP 26 P предложена в качестве стабилизатора при производстве ТМС, в состав которого входят утяжеленная дизельная фракция с атмосферной колонны установки ГК-3 и кубовый остаток, получаемый в процессе атмосферно-вакуумной перегонки гидрогенизата блоков гидрирования тяжелых среднетемпературных фракций первичной и вторичной переработки нефти. Оценка эффективности действия АОП проводили по изменению общего количества осадка, являющегося мерой окислительной стабильности, а также по концентрации фактических смол. Методом ЭПР доказано протекание радикальных реакций в процессе хранения тяжелых дизельных фракций вторичного происхождения и ингибирующее действие АОП Kerobit TP 26 P на эти процессы.

Ключевые слова: топливо маловязкое судовое, тяжелые дистилляты, антиокислительные присадки, депрессорные и депрессорно-диспергирующие присадки, фактические смолы, окислительная стабильность

DOI: 10.31857/S0028242120050032

Основные направления переработки средних и тяжелых дистиллятов вторичного происхождения – каталитические процессы, требующие для своей реализации значительных капиталовложений [1]. Поэтому вовлечение фракций вторичного происхождения в товарные топлива в качестве компонентов – в настоящее время одна из актуальных задач, решение которой позволяет значительно улучшить экономические и экологические показатели нефтеперерабатывающих производств. ТМС, начиная с 90-х гг. прошлого века, является одним из многотоннажных продуктов

отечественной нефтепереработки, поставляемых как на внутренний рынок, так и на экспорт [2, 3]. В работах [4–9] показана возможность вовлечения вторичных продуктов нефтепереработки АО “АНХК” в производство ТМС, удовлетворяющего требованиям технического регламента Таможенного союза “О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту” (ТР ТС 013/2011), вступившим в силу с 1 января 2020 г. и вводящим ограничение по содержанию серы – не более 0.5%. Вместе с тем, во-

влечение в ТМС тяжелых дизельных фракций вторичного происхождения (тяжелые дистилляты¹) связано, в первую очередь, с проблемами нестабильности при хранении и несоответствиями нормативам по температурным характеристикам. Известно, что для компаундируемых топлив добавление в рецептуру присадок является необходимым условием соответствия нормативным требованиям [4, 10–14]. Ранее [4, 6–8] для компаундируемого состава ТМС с применением тяжелых дистиллятов были предложены депрессорные и депрессорно-диспергирующие присадки (ДП и ДДП), найдены их оптимальные концентрации, позволяющие снизить температуру застывания ТМС до нормируемой величины и получить высокие, положительные показатели депрессии; проведена оценка [15] эффективности действия антиокислительных присадок (АОП) на стабильность тяжелых дизельных фракций вторичного происхождения.

Вместе с тем, оптимизация состава ТМС, обеспечивающего топливу соответствие нормативным документам и стабильность при хранении, в условиях вовлечения тяжелых дистиллятов позволит увеличить маржинальность продукции, снизить “запас по качеству”, а также конкретизировать назначение, номенклатуру и количество присадок.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследований выступали базовые основы ТМС с присадками и без них, приготовленные в лабораторных условиях с применением тяжелых и средних дистиллятов нефтепереработки производства АО “АНХК”: прямогонной среднедистиллятной фракции (ПСДФ), в том числе утяжеленного фракционного состава, получаемой в процессе атмосферной перегонки обессоленной нефти; легкого газойля, получаемого в процессе каталитического крекинга смеси вакуумных дистиллятов (ЛГКК); кубового остатка (КО), получаемого в процессе атмосферно-вакуумной перегонки гидрогенизата блоков гидрирования тяжелых среднедистиллятных фракций первичной и вторичной переработки нефти, а также предложенных нами в процессе исследований [4, 15] легкого газойля замедленного коксования (ЛГЗК); тяжелых дизельных фракций с вакуумных колонн установок первичной переработки нефти (ТДФВК); утяжеленных дизельных фракций с атмосферной колонны (УДФ) и вакуумных дистиллятов различного фракционного состава (ВД).

Отбор исходных компонентов, необходимых для приготовления образцов ТМС, осуществляли

по ГОСТ 2517. Испытания проводились в день отбора компонентов и приготовления образцов ТМС по рецептурам, рассчитанным методом математического моделирования на базе программного продукта PIMS² компании Aspen Tech, и через 9 недель хранения, которое осуществлялось в вентилируемом вытяжном шкафу, защищенном от прямых солнечных лучей, в посуде из темного стекла. Условия хранения: влажность — от 30 до 32%, температура окружающего воздуха — от 20 до 25°C, атмосферное давление — от 715 до 740 мм рт. ст.

Физико-химические показатели оценивались по стандартизированным методикам на следующем оборудовании:

1. вязкость кинематическая при 20°C по ГОСТ 33 с использованием термостата жидкостного ВИС-Т-09-3 и вискозиметра капиллярного стеклянного ВПЖ-4;
2. температура вспышки, определяемая в закрытом тигле по ГОСТ Р ЕН ИСО 2719 (Метод А) на аппарате HFP 339;
3. температура застывания по ГОСТ 20287 на аппарате ЛЗН-75;
4. массовая доля серы по ГОСТ Р 51947 на рентгенофлуоресцентном анализаторе Lab-X3500;
5. коксуемость по ГОСТ 19932 с использованием лабораторных весов XS модификации XS 204, аппарата для определения коксуемости нефтепродуктов по Конрадсону ТЛ 1-04.1, аппарата для определения разгонки нефтепродуктов АРН-ЛАБ-1 и муфельной печи ПЭ-4820;
6. плотность при 15°C по ASTM D 4052 на плотномере DE-40;
7. содержание водорастворимых кислот и щелочей по ГОСТ 6307 анализировали с использованием стеклянной посуды;
8. массовая доля воды по ГОСТ 2477 на аппарате АКОВ ПЭ-4100 М;
9. зольность по ГОСТ 1461 определяли с использованием лабораторных весов XS модификации XS204 и муфельной печи ПЭ-4820;
10. меркаптановая сера по ГОСТ 17323 на автоматическом титраторе серии Т модели Т50;
11. содержание механических примесей по ГОСТ 6370 с использованием весов лабораторных XS мо-

² PIMS — экономико-технологическая система моделирования нефтепереработки — инструмент построения методом линейного программирования (ЛП) моделей планирования процессов нефтепереработки для создания оптимальных планов, включая оценку альтернатив сырой нефти, промежуточного сырья, сырья, получаемого за пределами рассматриваемой установки, технологий, продуктов и рынков. Aspen PIM Sprogam (Process Industry Modeling System). Available at: <https://www.aspentech.com/en/resources/brochure/aspen-pims-family> (accessed 04 April 2019).

¹ Решение от 16 июля 2012 г. № 54 “Об утверждении единой Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза и Единого таможенного тарифа Евразийского экономического союза”.

дификации XS204 и шкафа сушильного “ЭКРОС” модель 4610;

12. цвет по ГОСТ 20284 на приборе для определения цвета нефтепродуктов ЦНТ.

Спектры ЭПР в CW-режиме регистрировали на спектрометре Brüker ELEXSYS E580 (CW-FT 9.7 ГГц) в кварцевых ампулах при следующих условиях: амплитуда модуляции 1.0 Гс, усиление приемника 60 дБ, постоянная времени 0.02 с, время преобразования 0.04 с, мощность микроволнового излучения 0.6325 мВт при комнатной температуре в кварцевых ампулах. Точность измерения g -фактора составляла ± 0.0002 .

Углеводородный состав компонентов рассчитывали на основании данных, полученных при определении:

– иодного числа по ГОСТ 2070 (метод А), выраженного в граммах иода, присоединяющегося к 100 г нефтепродукта при оттитровывании свободного иода раствором тиосульфата натрия после обработки нефтепродукта спиртовым раствором иода. При этом массовую долю непредельных углеводородов в нефтепродукте вычисляли по формуле, приведенной в п. 1.4.4 ГОСТ 2070.

– суммарной массовой доли непредельных и ароматических углеводородов по ГОСТ 6994, полученной при обработке испытуемого нефтепродукта 98.5–99.0%-ной H_2SO_4 . При этом содержание ароматических углеводородов рассчитывали по формуле, приведенной в п. 4.1 ГОСТ 6994, как разность суммарной массовой доли углеводородов, прореагировавших с H_2SO_4 , и массовой доли непредельных углеводородов, рассчитанной по ГОСТ 2070.

Стабильность компонентов оценивалась по таким показателям, как концентрация фактических смол по ГОСТ 8489 и окислительная стабильность: общее количество осадка по ГОСТ Р EN ISO 12205. При этом за стабильность топлива принимали величину обратно пропорциональную количеству выделяющегося при окислении по ГОСТ Р EN ISO 12205 осадка.

Метод определения концентрации фактических смол по ГОСТ 8489 заключается в выпаривании испытуемого топлива под струей водяного пара при температуре 225°C на термостатирующем аппарате ПОС-1 и служит для условной оценки склонности топлива к смолообразованию при его применении в двигателе.

Для оценки окислительной стабильности по ГОСТ Р EN ISO 12205 испытуемый образец окисляют при температуре 95°C в течение 16 ч, барботируя через него кислород. После окисления испытуемый образец охлаждают до комнатной температуры и фильтруют для определения количества отфильтрованных нерастворимых веществ. Затем из аппарата с помощью тройного растворителя удаляют

смолистые нерастворимые вещества. Для определения количества смолистых нерастворимых веществ тройной растворитель удаляют испарением. Сумму смолистых и отфильтрованных нерастворимых веществ записывают как общее количество нерастворимых веществ. Испытания проводятся с использованием аппарата для определения окислительной стабильности, весов лабораторных и термостата для определения фактических смол в топливах Herzog.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методом математического моделирования на базе программного продукта PIMS (Process Industry Modeling System – Экономико-технологическая система моделирования нефтепереработки) компании Aspen Tech были проведены расчеты по определению оптимального по нормируемым показателям состава ТМС с использованием в качестве компонентов тяжелых дизельных фракций вторичного происхождения производства АО “АНХК”. Для оценки допустимого состава ТМС, соответствующего требованиям ТУ 38.101567-2014, в программу PIMS в качестве необходимых параметров расчета были введены объемы производства и фактические значения критических показателей каждого компонента (температура застывания, массовая доля серы, цветность, плотность). Учитывая возможность корректировки температуры застывания применением ДДП [4, 6–8], в расчете данным ограничением по качеству пренебрегли. Процесс расчета оптимальных рецептур смешения ТМС с помощью данного программного продукта позволяет учесть не только качественные характеристики компонентов, но и их объемы, получаемые на действующих производствах, и возможность их перераспределения без экономических потерь для компании в целом. Данный подход к моделированию оптимальной рецептуры ТМС носит общий характер и может быть применим для оптимизации всех видов многокомпонентных топлив.

Исходя из введенных в модель данных, были получены рецептуры трех базовых основ (БО), в каждой из которых максимально возможными по вовлечению компонентами определены ПСДФ и ВД.

В БО-1, исходя из ограничений по показателю массовая доля серы, доля вовлечения вторичных фракций составила: КО – 8%, ЛГКК – 10%, ЛГЗК – 2% и УДФ – 10%.

В БО-2 для оценки влияния на цвет ТМС компонент ЛГЗК был исключен, доля вовлечения вторичных фракций составила: КО – 10%, ЛГКК – 10% и УДФ – 10%.

В БО-3 для повышения температуры застывания исходной базовой основы ТМС ввели компонент ВД в количестве 35%, доля вовлечения вторичных фракций составила: ЛГКК – 10%.

Таблица 1. Компонентный состав исследуемых образцов топлива маловязкого судового

Компонент	Содержание компонента, %					
	БО-1	ТМС на БО-1	БО-2	ТМС на БО-2	БО-3	ТМС на БО-3
КО		8		10	–	–
УДФ		10		10	–	–
ЛГЗК		2	–	–	–	–
ПСДФ		60		60		47
ЛГКК		10		10		4
ТДФВК		10		10		2
ВД	–	–	–	–		35
УДФ _{АВТ-6}	–	–	–	–		12
Присадка:						
OFI 8863	–	0.04	–	0.04	–	0.04
Kerobit TP 26 P	–	0.03	–	0.03	–	0.03

В каждую БО были введены: ДДП – OFI 8863, допущенная к промышленному применению в АО “АНХК”, и АОП – Kerobit TP 26 P (табл. 1). OFI 8863 является в настоящее время одной из наиболее широко используемых присадок. Нами было показано [4, 6–8], что добавление данной присадки к базовой основе ТМС на основе тяжелых дизельных фракций первичного и вторичного происхождения снижает температуру застывания более чем на 20°C, по сравнению с нормируемым показателем для ТМС. В связи с чем, было целесообразно применить данную присадку и для корректировки низкотемпературных свойств исследуемых нами базовых основ (БО-1-3). Антиокислительная присадка Kerobit TP 26 P была выявлена, как наиболее перспективная из целого ряда АОП, при оценке стабилизирующей способности на тяжелые дистилляты – перспективные компоненты ТМС [15]. Это обусловлено химической природой присадки – способностью фенолов выполнять роль ловушек свободных радикалов в процессах пероксидного окисления. Активный свободный радикал, ведущий цепь окисления, быстро взаимодействует с таким фенолом, давая устойчивый феноксильный радикал, что приводит к обрыву цепи [16–21].

Эффективность действия АОП Kerobit TP 26 P на ТМС оценивали по окислительной стабильности (величине обратно пропорциональной количеству выделяющегося при окислении по ГОСТ Р EN ISO 12205 осадка), а также по концентрации фактических смол в образцах ТМС с присадками относительно результатов по этим же показателям, полученных в ТМС без присадки после хранения. При этом обязательным условием подтверждения эффективности АОП является снижение фактических результатов одновременно по обоим показателям.

Установлено, что лабораторные образцы ТМС, приготовленные по рассчитанным рецептурам (табл. 1), соответствуют требованиям ТУ 38.101567-2014 и отлично коррелируют с расчетными данными, как в момент приготовления, так и после хранения образцов в течение 9 недель (табл. 2).

Для определения влияния АОП на устойчивость ТМС при хранения мы исследовали изменение в процессе хранения окислительной стабильности и способности к смолообразованию образцов данного топлива различного состава.

Показано (рис. 1), что введение АОП Kerobit TP 26 P в образцы ТМС разного состава (табл. 1) приводит к увеличению окислительной стабильности всех исследуемых топлив при хранении по сравнению с таковой для ТМС этого же состава без АОП.

На диаграмме (рис. 2) представлена зависимость концентрации фактических смол от типа и компонентного состава лабораторного образца ТМС. Из полученных результатов выявить корреляцию между составом топлива и его склонностью к смолообразованию не представляется возможным. Вместе с тем, хочется отметить, что присутствие в БО-1 компонента ЛГЗК практически полностью нивелирует действие АОП на исследуемый показатель. В образцах ТМС на БО-2 и БО-3 введение АОП привело к отсутствию увеличения концентрации фактических смол (на БО-2), или значительному уменьшению (на БО-3).

Наряду с нормативными требованиями по основному эксплуатационным характеристикам ТМС важным показателем данного нефтепродукта является “цветность”, выраженная в единицах цветности, ЦНТ (не более 2.5 ед. ЦНТ). Установлено, что цветность базовых основ ТМС (БО-1-3) с ДДП и без нее повышается при хранении и достигает 3–4 ед. ЦНТ. Это вызвано протеканием гомоли-

Таблица 2. Эксплуатационные характеристики топлива маловязкого судового в день отбора проб (А) и после хранения в течение 9 недель (Б)

Наименование показателя	Топливо маловязкое судовое					
	БО-1 _{ДДП + АОП}		БО-2 _{ДДП + АОП}		БО-3 _{ДДП + АОП}	
	А	Б	А	Б	А	Б
Вязкость кинематическая, 20 °С, мм ² /с	10.59	10.69	10.51	10.44	11.29	11.37
Температура вспышки, в закрытом тигле, °С	94	94	93	95	99	101
Температура застывания, °С	-34	-32	-28	-32	-30	-28
Массовая доля серы, %	0.48	0.48	0.46	0.47	0.49	0.50
Коксуемость, %	0.075	0.088	0.070	0.080	0.060	0.059
Плотность при 15°С, кг/м ³	879.1	879.1	876.8	876.4	884.3	884.3
Иодное число, г иода на 100 г продукта	3.3	3.0	2.7	2.8	2.2	2.5
Массовая доля воды, %	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.
Зольность, %	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004
Меркаптановая сера, %	0.004	0.002	0.004	0.003	0.003	0.002
Содержание механических примесей, %	0.058	0.060	0.056	0.057	0.072	0.042
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.
Цвет, ед. ЦНТ	1.5	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0

Таблица 3. Углеводородный состав компонентов топлива маловязкого судового.

Содержание углеводородов, %	Компонент топлива маловязкого судового							
	ПСДФ	ЛГКК	КО	ЛГЗК	ТДФВК	УДФ (установка ГК-3)	УДФ (установка ЭЛОУ + АВТ-6)	ВД
Непредельные	1.3	9.8	0.7	23.1	1.4	2.2	3.5	3.2
Ароматические	23.7	69.2	1.3	30.9	23.6	29.8	24.5	28.8

тических процессов в соединениях, входящих в состав компонентов топлив. Вместе с тем добавление АОП Kerobit TP 26 P, содержащей активный антиоксидант – 2,6-ди-*трет*-бутилфенол, значительно замедляет эти процессы при хранении. Несмотря на то, что при хранении образцов с АОП увеличение цветности также происходит, относительно изменение этой величины в них значительно меньше, чем для образцов топлив без присадки, а значение этого параметра лежит в пределах, нормируемых потребителем (рис. 3).

Исключение составляет топливо на БО-1, в состав которого входит ЛГЗК. Показано, что вовлечение в состав топлива маловязкого судового компонента ЛГЗК приводит к значительному увеличению в продукте концентрации фактических смол и изменению цвета, что не удается снизить до установленных значений введением антиокислитель-

ной присадки. После хранения фактическое значение цветности для данного топлива превышает 2.5 ед. ЦНТ.

Неэффективность действия АОП в данном случае можно объяснить химическим составом ЛГЗК, в котором непредельных углеводородов значительно больше, чем в других компонентах ТМС (табл. 3). Известно [22], что соединения, содержащиеся в газойлях коксования, вступают, в первую очередь, в ионные и перициклические реакции: окислительную поликонденсацию, диеновый синтез и пр. и, в значительной степени, в процессы, протекающие с гомолитическим разрывом связей. Присадка Kerobit TP 26 P, являясь антиоксидантом, замедляет только радикально-цепные процессы: окисление и отчасти полимеризацию.

С целью доказательства протекания радикальных реакций в процессе хранения тяжелых дизель-

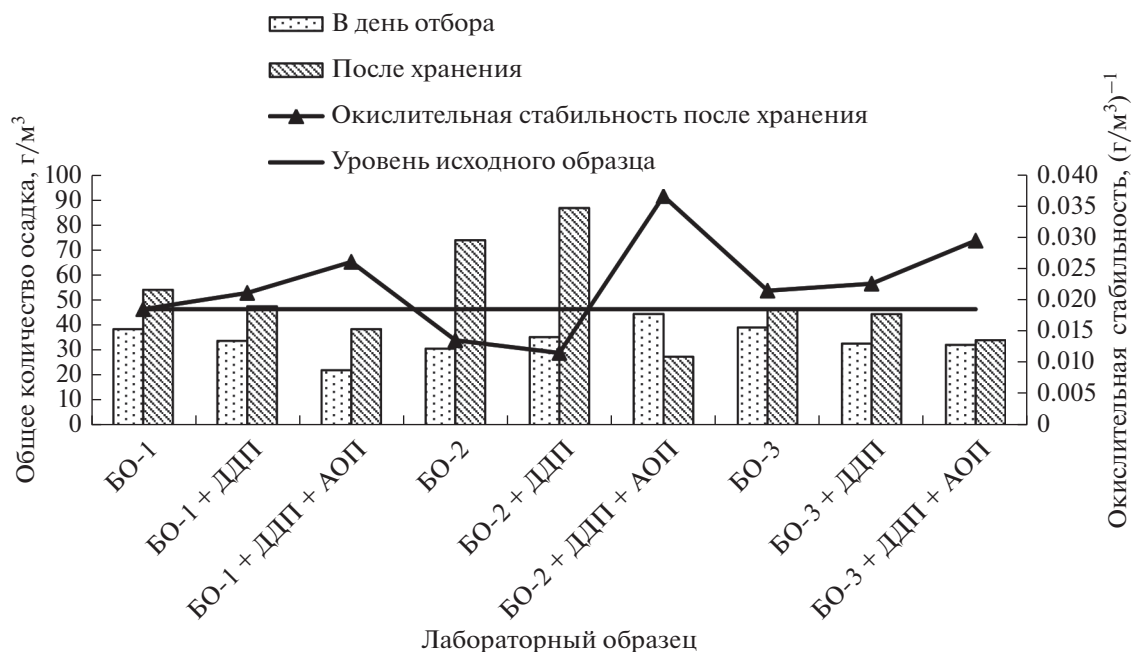


Рис. 1. Окислительная стабильность образцов топлива маловязкого судового.

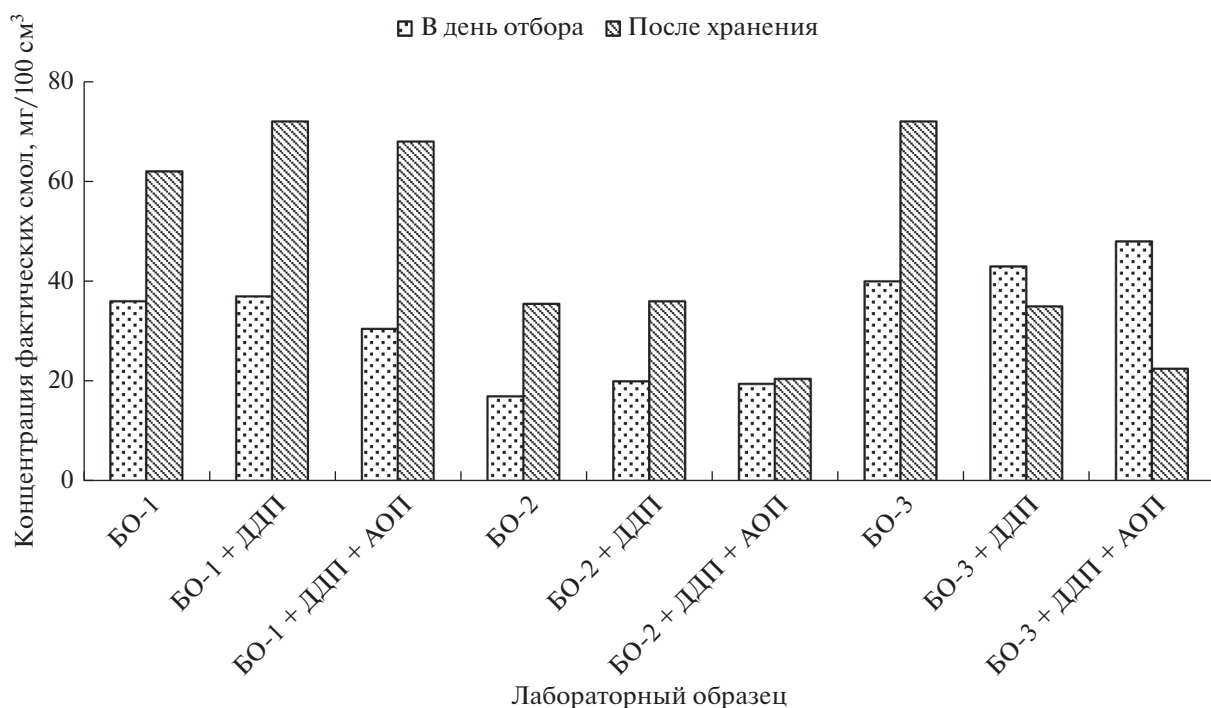


Рис. 2. Концентрация фактических смол образцов топлива маловязкого судового.

ных фракций вторичного происхождения и ингибирующего действия АОП Kerobit TP 26 P на эти процессы нами был привлечен метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Известно, что нефть содержит парамагнитные примеси и свободные радикалы, дающие характерные спек-

тры ЭПР [23], поэтому есть вероятность, что продукты нефтепереработки также могут содержать парамагнитные примеси. Нами было предпринято изучение компонента УДФ методом ЭПР как напрямую, так и в присутствии спиновой ловушки (тем более, что до нас исследований продуктов

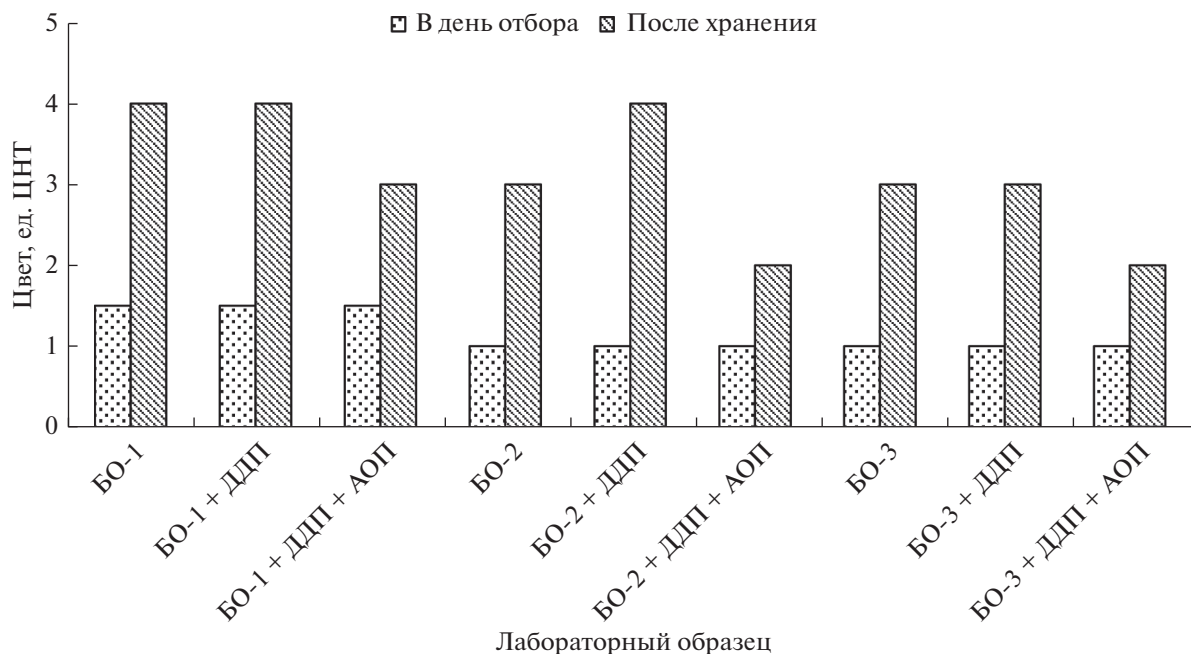
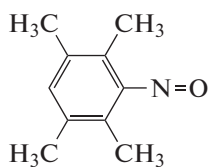
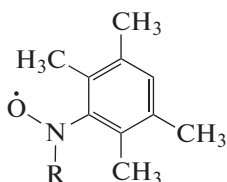


Рис. 3. Цвет образцов топлива маловязкого судового.

нефтепереработки методом ЭПР не проводилось, а влияние АОП было предсказано только на основании химической природы присадок). В исходном образце УДФ в спектрах ЭПР-сигналов свободных радикалов обнаружено не было. В таких случаях метод ЭПР может оказаться полезным при использовании, так называемой, техники спиновой ловушки, когда диамагнитные вещества типа нитронов или нитрозосоединений, добавленные к образцу, присоединяются к свободным короткоживущим радикалам, образуя устойчивые спиновые аддукты, дающие характерные сигналы ЭПР. С этой целью нами была использована спиновая ловушка – нитрозодурол:



Нитрозодурол



Спиновый аддукт

Однако, в спектрах ЭПР свежеприготовленных образцов после добавления спиновой ловушки не были обнаружены сигналы спиновых аддуктов свободных радикалов. Скорее всего, их концентрация оказывается ниже порога чувствительности прибора. Тогда образцы были подвергнуты процедуре старения, как в исходном состоянии, так в присутствии АОП. В спектре ЭПР состаренных образцов без использования нитрозодурола сигналов не обнаружено, что можно объяснить, во-

первых, тем, что для прямой регистрации фенок- сильных радикалов необходима дегазация [24], во- вторых, они склонны к быстрой рекомбинации [25]. Зато в присутствии спиновой ловушки в со- старенных образцах были зарегистрированы сиг- налы ЭПР (рис. 4).

Спектры обоих образцов представляют собой азотные триплеты, спектральные параметры ко- торых соответствуют параметрам, характерным для нитроксильных радикалов. Спектр аддукта обра- зца, полученного без стабилизирующей добавки, представляет собой азотный триплет с g -факто- ром 2.0067, с константой сверхтонкого взаимодей- ствия $aN = 13.58$ Гс и шириной линии $\Delta H = 2.50$ Гс. Спектр аддукта образца, полученного в присут- ствии стабилизирующей добавки, представляет со- бой аналогичный триплет меньшей интенсивности с параметрами: g -фактор 2.0066, $aN = 13.60$ Гс, $\Delta H = 2.40$ Гс. Поскольку напряженность магнит- ного поля (H) прямо связана с величиной g -фак- тора ($h\nu = g\beta H$ [26]), а значение g -фактора является характеристической величиной для каждого ради- кала, можно предположить, что спиновая ловушка фиксирует свободные радикалы ненасыщенных углеводородов, пероксидов и осколков антиокис- лительной присадки. Как видно из рис. 4, сигнал ЭПР-образца с присадкой (синий) по интен- сивности меньше, чем сигнал образца без присадки (красный) примерно в два раза. Это свидетель- ствует о способности присадки подавлять образо- вание радикалов в процессе старения.

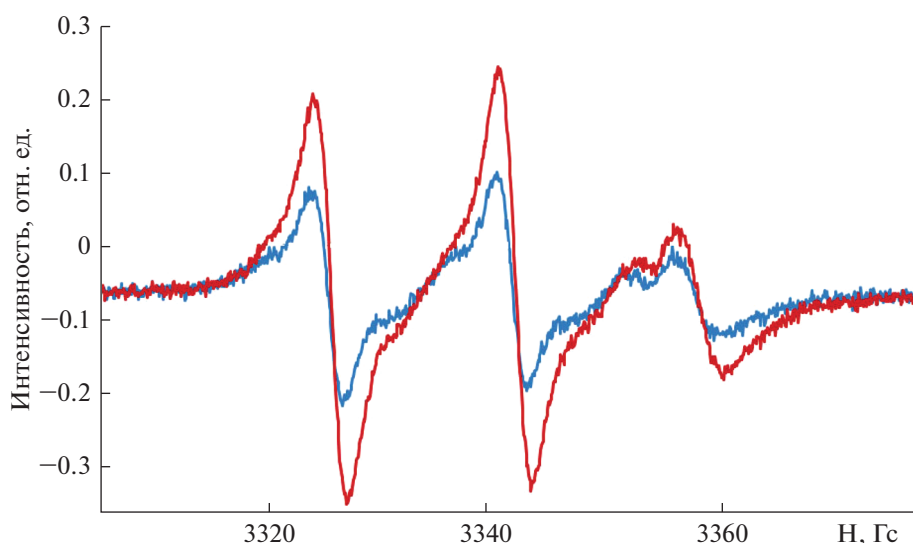


Рис. 4. ЭПР-спектр образца без присадки (более интенсивный), спектр образца с присадкой (менее интенсивный).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании комплексного подхода к оптимизации состава многокомпонентных топлив, заключающегося в комбинации метода математического моделирования и экспериментального воспроизведения оптимальных рецептур, показана возможность вовлечения тяжелых дистиллятов производства АО «АНХК» в состав ТМС. Характеристики модельных топлив, приготовленных на основании этих рецептур, хорошо коррелируют с расчетными данными и соответствуют требованиям нормативных документов. Вовлечение тяжелых дизельных фракций вторичного происхождения (УДФ, КО) в ТМС позволит повысить глубину переработки нефти, снизить «запас по качеству» при производстве топлива, а добавление присадок – депрессорно-диспергирующей (OFI 8863) и антиокислительной (Kerobit TP 26 P) – решить проблемы, связанные с несоответствием по температурным характеристикам и нестабильностью при хранении. Методом ЭПР доказана радикальная природа окислительных процессов, происходящих при хранении топлив. Установлена зависимость стабилизирующего действия АОП от химического состава вовлекаемых в ТМС компонентов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Артемьева Жанна Николаевна, начальник Испытательного центра – Управления контроля ка-

чества АО «Ангарская нефтехимическая компания», ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3371-5785>

Дьячкова Светлана Георгиевна, д.х.н., зав. каф. химической технологии Иркутского национального исследовательского технического университета, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6091-3077>

Кузора Игорь Евгеньевич, к.т.н., зам. начальника ИЦ-УКК по новым технологиям АО «Ангарская нефтехимическая компания», ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7039-2017>

Лонин Михаил Александрович, зам. начальника производственного управления АО «Ангарская нефтехимическая компания», ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9206-4412>

Вакульская Тамара Ильинична, д.х.н., в.н.с. Иркутского института химии СО РАН им. А.Е. Фаворского, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6576-9695>

Павлов Дмитрий Витальевич, к.х.н., н.с. Иркутского института химии СО РАН им. А.Е. Фаворского, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2615-2884>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будуква С.В., Елецкий П.М., Заикина О.О., Соснин Г.А., Яковлев В.А. // Нефтехимия. 2019. Т. 59. № 5. С. 485 [Petrol. Chemistry. 2019. V. 59. № 9. P. 941].
2. Митусова Т.Н., Лобашова М.М., Ершов М.А., Бобкова М.В., Титаренко М.А. // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2018. № 11. С. 44.
3. Митусова Т.Н., Лобашова М.М., Ершов М.А., Титаренко М.А., Чернышева Е.А., Тимербаев Г.Г. // Нефтепереработка и нефтехимия. 2018. № 12. С. 19.

4. *Артемяева Ж.Н., Кузора И.Е., Дьячкова С.Г., Старикова О.В.* // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9. № 2. С. 328.
5. *Кузора И.Е., Дубровский Д.А., Черепанов В.Д., Дьячкова С.Г.* // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2016. № 3. С. 51.
6. *Артемяева Ж.Н., Старикова О.В., Посельская Т.Ю., Галушко Е.М., Дьячкова С.Г.* // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Перспективы развития технологии переработки углеводородных, растительных и минеральных ресурсов. ИРНИТУ. Иркутск, 2017. С. 129.
7. *Артемяева Ж.Н., Дьячкова С.Г., Кузора И.Е., Старикова О.В.* // Сборник тезисов XII Всероссийской научно-технической конференции “Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России”. М., 2018. С. 199.
8. *Артемяева Ж.Н., Кузора И.Е., Дьячкова С.Г.* // Материалы конференции “Актуальные задачи нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса”. М., 2018. С. 57.
9. *Ганина А.А., Кузора И.Е., Дьячкова С.Г., Дубровский Д.А., Артемяева Ж.Н., Семтнов И.А.* // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2018. № 12. С. 4.
10. *Алексанян К.Г., Стоколос О.А., Солодова Е.В., Зайцева Ю.Н., Салманов С.Ю., Яруллин Н.Р., Налетова А.В., Михайлов Э.Р.* // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2018. Т. 61. Вып. 9–10. С. 120.
11. *Котов С.В., Смирнов Б.Ю., Канкаева И.Н.* // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2018. № 2. С. 71.
12. *Kondrasheva N.K.* // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2017. V. 2. P. 13.
13. *Кондрашева Н.К.* // Нефтехимия. 2013. Т. 53. № 5. С. 384 [Petrol. Chemistry. 2013. V. 53. № 5. P. 341].
14. *Кондрашева Н.К.* // Нефтегазовое дело. 2007. № 1. С. 40.
15. *Артемяева Ж.Н., Дьячкова С.Г., Кузора И.Е., Лонин М.А.* // Нефтепереработка и нефтехимия. 2019. № 9. С. 35.
16. *Колчина Г.Ю., Тухватуллин Р.Ф., Бабаев Э.Р., Мовсумзаде Э.М.* // НефтеГазоХимия. 2017. № 1. С. 10.
17. *Белобородов В.Л., Зурабян С.Э., Лузин А.П., Тюкавкина Н.А.* Органическая химия. Кн. 1 / Под ред. Тюкавкиной Н.А. М.: Дрофа, 2003. 640 с.
18. *Lespade L., Bercion S.* // Free Radical Research. 2012. V. 46. № 3. P. 346.
19. *Shilov A.E., Shul'pin G.V.* // Springer Science & Business Media. 2001. V. 21. № 1. P. 131.
20. *Полетаева О.Ю.* // Нефтепереработка и нефтехимия. 2014. № 4. С. 41.
21. *Буза А.О.* // Worldscience: Problems and Innovations. Сборник статей XV Международной научно-практической конференции: в 4 частях. Пенза: Наука и Просвещение, 2017. 48 с.
22. *Магарил Р.З.* Теоретические основы химических процессов переработки нефти. М.: Книжный дом “Университет”. 2010. 278 с.
23. *Crude Oil Emulsions – Composition Stability and Characterization.* Edited by Manar El-Sayed Abdel-Raouf. Rijeka: InTech., 2012. 230 p.
24. *Porter T.R., Kaminsky W., Mayer J.M.* // J. of Organic Chemistry. 2014. № 79. P. 9451.
25. *Нонхибел Д., Уолтон Дж.* Химия свободных радикалов. М.: Мир, 1977. 352 с.
26. *Верти Дж., Болтон Дж.* Теория и практические приложения метода ЭПР. М.: Мир, 1975. 26 с.