

Казанский Федеральный Университет
Кафедра высоковязких нефтей и природных битумов
Kazan Federal University,
Department of high-viscosity oils and natural bitumen
Современные научно-практические аспекты создания ультратонких
дисперсий модифицированных нефтяных топлив
Modern scientific and practical aspects of the creation of ultrathin dispersions of
modified petroleum fuels

Валиев Динар Зиннурович, Valiev Dinar Zinnurovich ^a

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich ^b

Кемалов Алим Фейзрахманович, Kemalov Alim Feizrahmanovich ^c

старший преподаватель кафедры высоковязких нефтей и природных битумов ^a
кандидат технических наук, доцент кафедры высоковязких нефтей и природных битумов,
Член Экспертного совета РГО, и.о. руководителя группы «Водородная и альтернативная», ^b
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой высоковязких нефтей и
природных битумов ^c

Казань, Россия

E-mail: kemalov@mail.ru

Аннотация: Наиболее эффективным и экономически целесообразным способом улучшения низкотемпературных свойств нефтей, топлив и масел является использование депрессорных присадок. Получение депрессорных присадок и технология их компаундирования с топливами должна полностью исключать фракционирование топлива и деструкцию присадок. При использовании статического излучателя возможно получение ультратонких эмульсий (но с низкой производительностью), диаметром частиц фазы менее 0,1 мкм. После обработки модифицированных дизельных топлив (ДТ) грубодисперсная структура с размерами дисперсной фазы до 15 мкм переходит в мелкодисперсную структуру с размером дисперсной фазы от 2,5 до 4 мкм. К наиболее перспективным для модификации топлив, необходимо отнести синтезированные с использованием технологии нанофазного катализа

высокомолекулярные соединения (ВМС) линейного типа марки ЛСО на основе синтезированных углеводородов олефинового типа, характеризующихся массовой долей непредельных соединений – до 8%, условной прочностью при растяжении – 200 кгс/см², относительным удлинением при разрыве – до 600 %, обладающие исключительной физико- химической стойкостью к окислению, термоэластичностью, высокими механическими свойствами, не проявляют коагулирующую способность. Температура стеклования ЛСО достигает минус 500С. В качестве растворяющего агента использованы товарные формы синтезированных композиционных растворителей — сольвент полиолефинового типа (ПО), содержащий фракцию моноциклических ароматических УВ – до 12 % мас., пространственный полиолефиновый тип соединения сольвента (ППО), дистиллятный нефтяной абсорбент (ДНА). При совместном действии депрессора и разбавителя может возникнуть синергетический эффект, обусловленный тем влиянием, которое оказывает разбавитель на химическую структуру депрессора в результате возникающих между ними или межмолекулярных взаимодействий, в результате чего эффективность депрессии присадки увеличивается. В центральных заводских лабораториях ОАО «Татнефть» и ОАО «Таиф-НК» были проведены лабораторные испытания образцов на гидроочищенном дизельном топливе (ГО ДТ), печном, судовом топливах, различных нефтяных фракциях.

Ключевые слова: композиционные депрессорные присадки, нефтяные топлива, ультразвуковое воздействие, физико- химические свойства, низкотемпературные характеристики, дисперсность.

Abstract: The most effective and economically feasible way to improve the low-temperature properties of oils, fuels and oils is the use of depressor additives. The preparation of depressor additives and the technology of their compounding with fuels should completely exclude the fractionation of fuel and the destruction of additives. When using a static emitter, it is possible to obtain ultrathin emulsions (but with low productivity) with a particle diameter of less than 0.1 microns. After the treatment of modified diesel fuels (DT), the coarse-dispersed structure with the size of the dispersed

phase up to 15 microns passes into a fine-dispersed structure with the size of the dispersed phase from 2.5 to 4 microns. Among the most promising for fuel modification, it is necessary to include high-molecular compounds synthesized using nanophase catalysis technology of the linear type of the LSO brand based on synthesized olefin-type hydrocarbons, characterized by a mass fraction of unsaturated compounds - up to 8%, conditional tensile strength - 200 kgf/ cm², elongation at break - up to 600%, possessing exceptional physicochemical resistance to oxidation, thermoelasticity, high mechanical properties, do not exhibit coagulating ability. The glass transition temperature of the LSO reaches minus 500C. Commercial forms of synthesized composite solvents were used as a solvent agent — polyolefin-type solvent (PO) containing a fraction of monocyclic aromatic hydrocarbons - up to 12% by weight, spatial polyolefin-type solvent compound (PPO), distillate oil absorbent (DND). With the combined action of the depressor and the diluent, a synergistic effect may occur due to the effect that the diluent has on the chemical structure of the depressor as a result of the interactions between them or intermolecular interactions, as a result of which the effectiveness of the additive depression increases. Laboratory tests of samples on hydrotreated diesel fuel (GO DT), furnace, marine fuels, and various oil fractions were carried out in the central factory laboratories of JSC Tatneft and JSC Taif-NK.

Keywords: composite depressor additives, petroleum fuels, ultrasonic exposure, physico-chemical properties, low-temperature characteristics, dispersion

Введение (Introduction)

Рациональное использование нефтяных горючесмазочных материалов, улучшение их качества и расширение ресурсов являются основными задачами современной нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Очень важна и актуальна для РФ и других северных стран проблема улучшения низкотемпературных свойств горючесмазочных материалов (холодная климатическая зона в РФ занимает 80% территории страны). Данная проблема усугубляется тем, что возрастающая доля добываемых в РФ нефтей является

парафинистыми. Последние отличаются от других углеводородов нефти повышенной температурой застывания, что обуславливает ухудшенные низкотемпературные свойства (подвижность, текучесть и др.) как самой нефти, так и продуктов ее переработки. По этим причинам не удастся получать зимнее дизельное топливо с концом кипения 330 – 350⁰С. Для достижения приемлемых значений температуры застывания приходится получать дизельные фракции с концом кипения не выше 290⁰С, что приводит к значительному снижению объема выпуска дизельного топлива и, соответственно, глубины переработки нефти [1-5]. Разработаны различные дорогостоящие способы удаления парафиновых углеводородов, среди которых карбамидная депарафинизация дизельных топлив, дистиллятных, остаточных масел в кетоноароматических растворителях. Для обеспечения требуемых низкотемпературных характеристик нефтепродуктов осуществляют их разбавление более легкими нефтяными фракциями. Этот путь, однако, противоречит стратегии рационального использования нефтяных ресурсов, особенно если учесть те колоссальные усилия, которые предпринимаются в настоящее время для углубления переработки нефти.

Наиболее эффективным и экономически целесообразным способом улучшения низкотемпературных свойств нефтей, топлив и масел является использование депрессорных присадок. Это вещества, при введении которых в малых концентрациях (от 0,05 до 1% мас.) достигается существенное снижение температуры застывания и улучшения текучести при низких температурах. Отличительно это направление обеспечивает рациональное использование нефтяных ресурсов и комплексное улучшение низкотемпературных характеристик нефти и нефтепродуктов. Применяются различные депрессорные присадки, причем значительное внимание уделяется присадкам на основе полиолефиновых сополимеров. В производстве депрессорных присадок традиционно используются высокомолекулярные соединения (ВМС), априори способные совмещаться с нефтяным топливом при повышенной температуре за минимальный период времени, так как в значительной степени от этого зависит степень дисперсности присадки. Процесс совмещения

дизельного топлива (ДТ) с ВМС протекает в две стадии: эмульгирование и последующее набухание или полное растворение [8]. Технология совмещения должна полностью исключать фракционирование топлива и деструкцию ВМС. Дизельные топлива, модифицированные ВМС, в том числе и блок-сополимерами, являются дисперсными неоднородными системами, а, следовательно, термодинамически неустойчивыми, что является причиной их расслоения (пептизации), особенно при повышенной температуре в статических условиях (в отсутствие перемешивания). Чем выше физико-химическое сродство ВМС к ДТ, чем выше степень дисперсности в массе топлива, тем выше устойчивость композиционного нефтепродукта к расслаиванию.

Материалы и методы (Materials and Methods)

Диспергирование присадок в топливах с помощью акустических аппаратов. Наилучшие результаты достигаются при использовании высокопроизводительных аппаратов – коллоидных мельниц, роторно-пульсационных (акустических) аппаратов, ультразвуковых диспергаторов, время пребывания компонентов в которых минимально, что предотвращает расслаивание модифицированных топлив и способствует созданию высокодисперсных систем, характеризующихся оптимальным комплексом физико-химических свойств.



Рисунок 1 - Зависимость интенсивности акустического излучения диспергаторов от его частоты: 1- РПАА, 2- статический ультразвуковой излучатель УЗДН, 3-РПА

На рис.1 представлено сопоставление полученных опытным путем данных по изменению интенсивности излучения акустического поля J в зависимости от частоты акустического излучения f для различных диспергаторов.

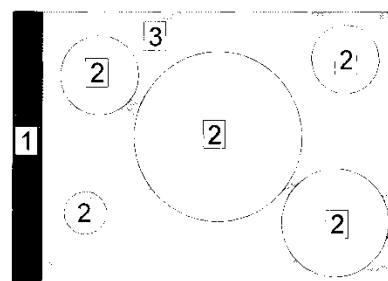
Как отмечалось [6-7], при использовании статического излучателя УЗДН возможно получение ультратонких эмульсий. При этом, как видно из рис.1, величина интенсивности акустического излучения УЗДН в измеренном диапазоне до 74 кГц близка к величине интенсивности акустического излучения РПАА в этом диапазоне. Величина же интенсивности акустического излучения РПА существенно ниже величин интенсивности акустического излучения и РПАА, и УЗДН. При этом ультратонкое диспергирование возможно и в РПАА, и в УЗДН, а в РПА ультратонкие дисперсии (диаметр частиц фазы $d < 0,1$ мкм) получены быть не могут. Этот факт однозначно иллюстрирует связь наличия акустического излучения высокой интенсивности с процессом ультратонкого диспергирования в РПАА и в УЗДН и отсутствия акустического излучения высокой интенсивности в РПА, вследствие чего приготовление в последнем ультратонких дисперсий невозможно.

Можно предположить, что процесс парогазовой кавитации всегда сопутствует процессу акустических колебаний в жидкости с интенсивностью, достаточной для образования парогазовых пузырьков. Но вместе с этим обнаружено его отрицательное влияние на процесс эмульгирования, в отличие от диспергирования частиц твердой фазы, которое заключается в том, что часть акустической энергии расходуется не на эмульгирование, а на пульсацию парогазовых пузырьков, на их дробление, коалесценцию. Так как плотность газа и жидкости различаются на несколько порядков (например, воды и воздуха - на три порядка), а коэффициент поглощения звука обратно пропорционален плотности среды, то газовые пузырьки при эмульгировании интенсивно поглощают акустическую колебательную энергию. На границе раздела «газ-жидкость», к тому же, происходит отражение акустических волн, что также увеличивает потери акустической энергии.

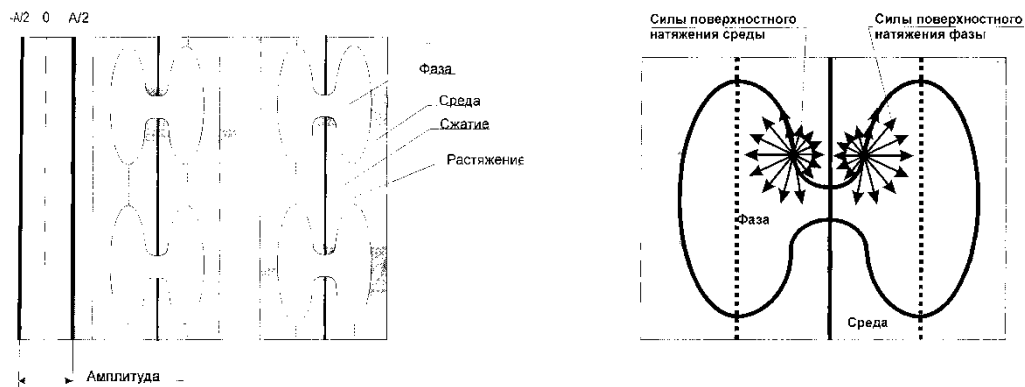
В настоящее время нет достоверной модели кавитационной области, адекватно описывающей ее поведение и поведение принадлежащего к ней отдельного кавитационного пузырька. Поведение кавитационной области (рис. 2) зависит от многих явлений и факторов: размножение и коагуляция (коалесценция) пузырьков; их взаимодействие; изменение характера пульсаций пузырька за счет ударных волн и звукового излучения соседних пузырьков; изменение средних акустических свойств среды; микропотоки внутри кавитационной области и на границе пузырька; распределение зародышей кавитации; газосодержание и т.д. Предполагается, что кавитация способна инициировать ядерные реакции и способствовать деструкции материи. Впервые с подобным явлением столкнулся в 1979 году американский ученый Флигг. Причина явления представлялась в сильном сжатии и разогреве газообразного содержимого кавитационных полостей, в результате в микроскопических объемах могли происходить термоядерные реакции с выделением нейтронов. Энергия кавитации могла стать причиной многих реакций синтеза, приводящих к образованию относительно тяжелых атомов в результате слияния более легких. Взяв за основу изложенный механизм кавитации, основные процессы кавитационной деструкции материи протекают в кавитационном активаторе практически одновременно, но с разной степенью интенсивности. Необходимо отметить, что рассматриваемая физическая модель механизма воздействия акустических колебаний на процессы эмульгирования и диспергирования согласуется с проводимыми исследованиями реологических и физико-химических свойств модифицированных ДТ.



а – распределение сил поверхностного натяжения



б – дисперсная среда с включениями частиц фазы: 1-стенка аппарата; 2-капли жидкой фазы; 3-жидкая среда.



в - воздействие волн «сжатие-растяжение» на дисперсную среду.

Деформация частиц фазы.

г - процесс разрушения капли дисперсной фазы.

Рисунок 2 - Стадии молекулярного диспергирования композиционных систем в УЗДН

Глубина процесса диспергирования ВМС в топливе определяется химической природой и молекулярной массой ВМС, химическим составом топлива, стехиометрическим соотношением компонентов. Варьируя типом и концентрацией синтезированного ВМС, можно получать модифицированные топлива с заданным комплексом физико-химических свойств. Диспергируясь в ДТ (рис. 2), ВМС образуют новую, сравнительно грубодисперсную структуру, хорошо видимую под микроскопом при увеличении в 9000 раз. Благодаря этому ДТ приобретают значительно отличающиеся физико-механические свойства, от систем необработанных в РПАА. Следует отметить, что после обработки модифицированных ДТ грубодисперсная структура с размерами дисперсной фазы до 15 мкм переходит в мелкодисперсную структуру с размером дисперсной фазы от 2,5 до 4 мкм. Предполагаем, по этой причине исследуемые топлива приобретают необходимые низкотемпературные, тиксотропные свойства.

Эффективность присадок в судовом топливе. В качестве исходного топлива исследовалось топливо маловязкое судовое с Нижнекамского НПЗ ОАО «Таиф-НК» в соответствии с требованиями ТУ 38.101567-2005, характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Физико-химические характеристики судового топлива маловязкого РВС-2

Наименование показателя		Значение параметра		Метод испытания
		по ТУ 38.101567-2000	Фактическое	
Фракционный состав, °С	50 % перегоняется при температуре не выше	290	281	По ГОСТ 2177
	конец кипения, не выше	360	343	
Вязкость кинематическая при 20 ⁰ С, мм ² /с, не более		11,4	4,8	По ГОСТ 33
Температура застывания, °С, не выше		минус 10	Минус 13	По ГОСТ 20287
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже		62	63	По ГОСТ 6365
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более		0,025	0,009	По ГОСТ 17323
Цетановое число, не менее		40	42	По ГОСТ 3122
Содержание водорастворимых кислот и щелочей		отсутствие	отсутствие	По ГОСТ 6307
Зольность, % не более		0,01	отсутствие	По ГОСТ 1461
Коксуемость, не более		0,2	0,0033	По ГОСТ 19932
Содержание воды		следы	отсутствие	По ГОСТ 2477
Содержание механических примесей		отсутствие	отсутствие	По ГОСТ 6370
Цвет		бесцветный	светло-желты	Визуально
Плотность при 15 ⁰ С, кг/м ³ , не более		893,0	842,5	По ГОСТ 3900
Йодное число, г йода на 100 г топлива, не более		20	1,17	По ГОСТ 2070 (метод А)

Таблица 2 - Влияние ультразвуковой обработки на температуру застывания топлива судового маловязкого

Образец	Время обработки, мин	Температура застывания, °С
№1	1	минус 13
№2	2	минус 13
№3	3	минус 13
№4	4	минус 13,5
№5	5	минус 14

Исходя из данных таблицы 2, можно утверждать, что обработка ультразвуком на величину температуры застывания влияет незначительно.

Исходя из особенностей состава и свойств к наиболее перспективным для

модификации топлив, необходимо отнести синтезированные ВМС линейного типа марки ЛСО. При модификации топлив с участием ВМС основной задачей является поиск рациональных способов совмещения топлива. При непосредственном введении ВМС в топливо не удавалось достичь оптимальных эксплуатационных свойств и достаточной однородности полученных полимерных дисперсий в топливах, ввиду высокой структурирующей способности у ВМС несмотря на то, что процесс смешения осуществлялся при температурах выше 50 0С. В данной работе в качестве растворяющего агента были использованы следующие товарные формы синтезированных композиционных растворителей - пластификаторов: ПО, ППО, ДНА. Некоторые физико-химические характеристики композиционных растворителей приведены в таблицах 3-5.

Таблица 3 - Физико-химические показатели фракции ПО – 500

Показатель	Норма
Молекулярная масса	500
Плотность при 20 ⁰ С, г/см ³	0,800
Температура вспышки, ⁰ С	120
Температура застывания, ⁰ С	-30

Таблица 4 - Физико-химические показатели ППО

Показатель	Значение
Фракционный состав:	
температура нач.кип., ⁰ С	170
температура кон.кип., ⁰ С	300
Температура вспышки в закрытом тигле, ⁰ С	70
Кинематическая вязкость при 20 ⁰ С, сСт	6,0
Температура застывания ⁰ С	минус 60

Таблица 5 - Физико-химические показатели ДНА

Показатель	Значение
Плотность при 20 ⁰ С, г/см ³	0,80
Фракционный состав:	
температура нач.кип., ⁰ С, не ниже;	30
температура кон.кип., ⁰ С, не выше	250
Массовая доля ароматических углеводородов	60
Давление насыщенных паров, мм.рт.ст., не выше	500

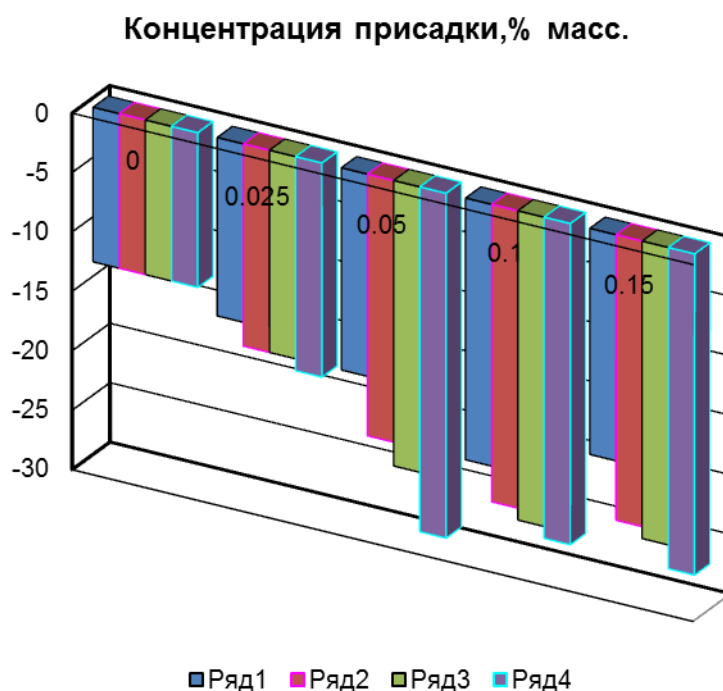
При совместном действии депрессора и разбавителя, при одновременном ультразвуковом воздействии может возникнуть синергетический эффект, обусловленный тем влиянием, которое оказывает разбавитель на химическую структуру депрессора в результате возникающих между ними или межмолекулярных взаимодействий [8], в результате чего эффективность депрессии присадки увеличивается.

Таблица 6 - Низкотемпературные характеристики модифицированных дизельных топлив

Концентрация присадки, % мас. (раствора ЛСО в топливе)	Температура застывания модифицированного дизельного топлива, °С					
	с участием ЛСО / ПО - ДНА, % мас.					
	5	10	15	20	30	35
0	минус 4	минус 6	минус 8	минус 10	минус 12	минус 26
0,1	минус 4	минус 9	минус 11	минус 17	минус 14	минус 31
0,2	минус 4	минус 12	минус 13	минус 17	минус 18	минус 34
0,3	минус 4	минус 14	минус 17	минус 18	минус 21	минус 35
0,4	минус 6	минус 15	минус 18	минус 18	минус 22	минус 42
0,5	минус 7	минус 16	минус 18	минус 18	минус 22	минус 47
Концентрация присадки	с участием ЛСО / ППО - ДНА, % мас.					
	5	10	15	20	30	35
	0,1	минус 4	минус 10	минус 12	минус 18	минус 15
0,2	минус 4	минус 13	минус 14	минус 18	минус 18	минус 36
0,3	минус 5	минус 15	минус 17	минус 18	минус 22	минус 37
0,4	минус 7	минус 17	минус 18	минус 19	минус 24	минус 43
0,5	минус 8	минус 18	минус 18	минус 19	минус 24	минус 47

Синергизм при действии композиций на основе сополимеров (табл. 6), обладающих различной растворимостью по сравнению с n-парафинами дизельных топлив, заключается в том, что разработанные композиционные присадки обладают депрессорно-диспергирующей активностью, т.е. одновременное снижение температуры застывания и предельной температуры фильтруемости. Характерной особенностью подобных композиций является сочетание гибкой основной цепи и более жестких взаимодействий между собой боковых ответвлений. Увеличение депрессорной активности присадок обеспечивается в неполярной углеводородной среде. Например, при добавлении к разбавителю высокомолекулярных олигомеров этилена или пропилена. Особенный (синергетический) эффект наблюдается при введении в композиционную систему ППО (ЛСО / ППО). Сопоставление растворимости сополимеров с их депрессорной активностью в дизельных и судовых топливах

позволило сформулировать критерий приемлемости топлива к присадке. Так, сополимер с молекулярной массой 16 000 наиболее эффективен в судовом топливе с температурой застывания минус 24⁰С, а - 8 000 – минус 9⁰С. Обработка ультразвуком на температуру застывания судового топлива свидетельствует об обратной релаксации, т.е. структура новообразованной системы тиксотропная.



1-10%- ный раствор ЛСО; 2- 20%-ный раствор ЛСО; 3-30% -ный раствор ЛСО 4- 35% раствор ЛСО; растворитель – ПО / ППО; все растворы прошли обработку ультразвуком в течение 5 мин.

Рисунок 3. Низкотемпературная способность присадки при различных концентрациях

По оси X: Концентрация присадки: концентрация ЛСО в судовом топливе

Результаты (Results)

Эффективность присадок в судовом топливе, вырабатываемое по требованиям ГОСТ 10585-75. В судовое топливо вводились те же самые присадки, с целью выяснения депрессорного эффекта на отдельной фракции нефти (280-340⁰С). Как следует из рисунка 3, наибольший депрессорный эффект достигается при использовании в качестве образца депрессорной присадки 35% -го раствора ЛСО во фракции ПО / ППО после ультразвуковой

обработки в течение 5 мин, вводимой в топливо в количестве 0,05% мас, что указывает на максимальную приемистость присадки топливом. Кроме того, депрессорный эффект зависит от содержания самого сополимера в топливе. При введении 10% раствора ЛСО, наибольший эффект достигается при содержании раствора ЛСО в топливе 0,1% мас., что соответствует содержанию самого сополимера 0,01%. При введении же 35% раствора максимальный эффект достигается при его содержании 0,05%, что соответствует содержанию сополимера–0,0175% мас.

Заключение (Conclusions)

Эффективность присадок в печном топливе. Разработанные присадки испытывались также и на печном топливе, вырабатываемом на Нижнекамском НПЗ по ТУ 38.101656-2005 и имеющем следующие характеристики: $t_{\text{пом.}}$ – (-5°C); $t_{\text{заст.}}$ – $7,5^{\circ}\text{C}$; фракционный состав: н.к. – 146°C , выкипает: 10% - 170°C ; 50% - 295°C , 96% - 360°C ; плотность при 20°C – $0,839 \text{ г/см}^3$. По температуре застывания топливо соответствует техническим условиям на топлива, выпускаемые в период с 1 апреля по 1 сентября ($t_{\text{заст.}}$ не выше минус 5°C). Для топлив, выпускаемых в период с 1 сентября по 1 апреля температуре застывания должна быть не выше минус 15°C .

В качестве присадки к печному топливу был выбран образец, показавший наилучший результат в судовом топливе, это 35% раствор ЛСО во фракции ПО / ППО. Присадки вводили в топливо в количествах от 0,025 до 0,15% масс. Результаты испытаний представлены в таблице 8.

Таблица 6 - Результаты испытаний присадки в печном топливе

Содержание присадки в топливе, % масс.	Температура застывания, $^{\circ}\text{C}$.	Температурная депрессия, $^{\circ}\text{C}$.
0	минус 7,5	-
0,025	минус 19	11,5
0,05	минус 30	22,5
0,1	минус 34	26,5
0,15	минус 30	22,5

Необходимо отметить высокую эффективность присадки в печном топливе: температурная депрессия составляет в зависимости от содержания присадки в топливе от 11,5°C до 26,5°C. Оптимальное содержание присадки – 0,1% масс (депрессия 26,5°C), что соответствует содержанию самого сополимера ЛСО в топливе 0,035% масс. В отличие от испытанного судового топлива оптимальное содержание присадки в печном топливе (возможная приемистость присадки топливом) в два раза выше.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности, с одной стороны, получения печного бытового топлива для зимнего периода без значительных затрат низкозастывающих керосино-лигроиновых фракций и, с другой - увеличения ресурсов печного топлива путем вовлечения в состав топлива высококипящих и высокозастывающих фракций без изменения требований к температуре застывания, т.е. в создании утяжеленных печных топлив.

Список литературы (References):

1. Джамалов З.З., Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф. Синтетическое жидкое топливо, на основе возобновляемого сырья из лигноцеллюлозной биомассы // Природные энергоносители и углеродные материалы & Natural energy sources and carbon materials. – 2021. – № 4(10)
2. Тертерян Р.А. Депрессорные присадки к нефти, топливам и масла. М.: Химия, 1990. 226 с.
3. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. Л.: Химия, 1985. 312 с.
4. Тертерян Р.А., Башкатова С.Т. Депрессорные присадки к дизельным топливам. М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1987. 66 с.
5. Данилов А.М. Введение в химмотологию. М.: Техника, 2003. 270 с.
6. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. Уфа: Гилем, 2002. 670 с.
7. Кемалов А.Ф. Интенсификация производства окисленных битумов и модифицированные битумные материалы на их основе: Дисс.докт.техн.наук. Казань.: КГТУ, 2005. 354с.
8. Кемалов Р.А. Модифицированные специальные битумы и лакокрасочные материалы на их основе : Автореф.дисс.канд.тех.наук. Казань, 2003, 20с.
9. Кемалов, А.Ф., Кемалов Р.А. Научно-практические основы физико-химической механики и статистического анализа дисперсных систем: учебное пособие – Казань.: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2008. – 472 с.
10. Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт / Ганиева Т.Ф., Кемалов А.Ф., Ванина К.М., Хазимуратов Р.Х., Шайхетдинов Р.Н.. 2007. № 4. С. 30-32.