



УДК 665.7.038.64

## ПОЛУЧЕНИЕ СУДОВЫХ МАЛОВЯЗКИХ ТОПЛИВ С УЛУЧШЕННЫМИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

### RECEIVING SMALL-FUEL SHIPS WITH IMPROVED LOW-TEMPERATURE CHARACTERISTICS

**Смышляева Ксения Игоревна**

магистрант,  
Санкт-Петербургский горный университет  
ks.smyshlyeva@mail.ru

**Шаклеина Виктория Сергеевна**

магистрант,  
Санкт-Петербургский горный университет  
vikulyatori@mail.ru

**Кондрашева Наталья Константиновна**

доктор технических наук, профессор,  
Санкт-Петербургский горный университет  
natalia\_kondrasheva@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе рассмотрено влияние депрессорно-диспергирующей присадки на низкотемпературные свойства судового маловязкого топлива, полученных на базе продуктов процессов гидрокрекинга и гидроочистки.

**Ключевые слова:** судовое маловязкое топливо, депрессорно-диспергирующая присадка, гидрокрекинг, гидроочистка.

**Smyshlyeva Ksenia Igorevna**

Student,  
St. Petersburg Mining University  
ks.smyshlyeva@mail.ru

**Shakleina Victoria Sergeevna**

Student,  
St. Petersburg Mining University  
vikulyatori@mail.ru

**Kondrasheva Natalia Konstantinovna**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
St. Petersburg Mining University  
natalia\_kondrasheva@mail.ru

**Annotation.** The article describes the effect of a depressant-dispersant additive on low-temperature properties of low-viscosity marine fuel obtained on the basis of products of hydrocracking and hydrotreatment processes.

**Keywords:** ship low-viscosity fuel, depressant-dispersant additive, hydrocracking, hydrotreatment.

Морской транспорт играет большую роль в международной торговле, на его долю приходится около 70 % международных грузоперевозок. С каждым годом мировое потребление судового топлива растет и составляет на настоящее время около 240 млн т. в год. Данный показатель по прогнозу рынка бункерного топлива может возрасти до 382–405 млн т. в год к 2020 году [7].

Судовое маловязкое топливо (СМТ) имеет дистиллятное происхождение и применяется для судов морского и речного флота, т.е. в акваториях рек, морей и крупных портов. Кроме того, в общем объеме нефтедобычи ежегодно продолжает возрастать доля сернистых и парафинистых нефтей, что в свою очередь оказывает наибольшее влияние на ухудшение экологических и низкотемпературных свойств. Использование топлив на основе среднестиллятных фракций, полученных из нефтей парафинистого основания, осложняется их высокими температурами застывания и малой текучестью при низких температурах. Решить данную проблему можно путем введения в состав топлив высокоэффективных депрессорных присадок, позволяющих снизить температуру застывания нефтепродуктов, повысить их текучесть и предотвратить осаждение парафинов [1, 3, 4].

#### Требования, предъявляемые к судовым маловязким топливам

Техническим стандартом регулируются важнейшие характеристики топлива, такие как – вязкость, зольность, массовая доля механических примесей, массовая доля воды, массовая доля серы, содержание сероводорода и летучих меркаптанов, температура вспышки, температура застывания и другие. Нормативы, которым должно соответствовать судовое маловязкое топливо – ГОСТ Р 54299-2010 «Топлива судовые», а также ТУ 38.101567-2005 «Топливо маловязкое судовое» приведены в таблице 1.

#### Депрессорные и депрессорно-диспергирующие присадки

Групповой углеводородный состав определяет низкотемпературные свойства СМТ. Особенно сильное влияние на них оказывают высокоплавкие парафины. Температурой застывания топлива называется температура, при которой топливо при малых усилиях сдвига теряет подвижность. Данная характеристика и характеризует низкотемпературные свойства судовых маловязких топлив [6].

Достижение нормативных показателей по  $T_3$  возможно введением депрессорных и депрессорно-диспергирующих присадок или регулированием группового углеводородного состава, путем получения смесевых топлив с использованием фракций с различных установок переработки нефтяного сырья [5, 6].



**Таблица 1** – Требования к судовым дистиллятным топливам

Наименование показателя	Норма по ГОСТ Р 54299 для марки				Норма по ТУ 38.101567
	DMX	DMA	DMZ	DMB	
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	1,400–5,500	2,000–6,000	3,000–6,000	2,000–11,000	–
Условная вязкость при 20 °С, °ВУ	–	–	–	–	2,0
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	–	890,0	890,0	900,0	893
Цетановый индекс, не менее	45	40	40	35	40
Массовая доля серы, % масс., не более	1,00	1,50	1,50	2,00	0,5   1,0   1,5
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже	61	61	61	61	62
Температура текучести, °С, не выше					
– зимой		– 6		0	–10
– летом		0		6	–10

Депрессорно-диспергирующие присадки состоят из депрессорного компонента, понижающего температуру застывания, и диспергирующей составляющей, отвечающей за агрегативную устойчивость топлив за счет предотвращения объединения n-парафинов в крупные агрегаты.

Существуют различные мнения о механизме действия депрессорных присадок на парафиновые углеводороды в нефтепродуктах. Наибольшее распространение получили следующие теории:

*Поверхностно-адсорбционная*

Молекула депрессора адсорбируется на кристалле парафина полярной частью, а неполярная часть обращена в среду и мешает сближению кристаллов парафина и их ассоциации. Поэтому образуются кристаллы звездообразной формы, которые дальше не укрупняются.

*Сокристаллизационная*

Молекулы парафина и депрессора кристаллизуются совместно. Молекула депрессора неполярной частью встраивается в кристалл парафина, а полярная часть остается снаружи, в среде, и препятствует оседанию новых молекул парафина на кристалле.

При длительном хранении может происходить расслоение топлива на слои: верхний светлый слой и нижний, с повышенным содержанием мелких кристаллов парафина. Поэтому важно в условиях хранения при низких температурах использовать диспергирующие присадки, которые предотвращают расслоение топлива [2].

**Методы и объекты исследования**

В качестве объектов исследования были выбраны:

- депрессорно-диспергирующая присадка ДПН-172 производства ООО «Синтез-ТНП»;
- среднедистиллятные фракции, отобранные с предприятия ООО «ПО «КИРИШИНЕФТЕОРГ-СИНТЕЗ», а именно дизельное топливо гидрокрекинга (ДТГК), гидроочищенная прямогонная дизельная фракция (г/о ПДФ) и легкий вакуумный газойль (ЛВГО).

Анализ низкотемпературных свойств компонентов и образцов СМТ проводили в соответствии с ГОСТ 20287-91 метод Б «Метод определения температуры застывания».

**Исследование базовых компонентов**

Все отобранные с промышленных установок фракции были исследованы физико-химическими методами анализа на соответствие их характеристик для использования в качестве компонентов судовых маловязких топлив. Полученные данные представлены в таблице 2.

**Таблица 2** – Физико-химические характеристики базовых компонентов СМТ

Показатель	ЛВГО	ДТГК	г/о ПДФ
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	7,092	2,52	1,036
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	152	96	92
Температура застывания, °С	+5	–11	–27
Содержание серы, масс. %	1,473	0,0037	0,0007
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	889	827	801
Фракционный состав, °С:			
н.к.	287	200	198
10 %	352	213	243
50 %	395	260	280
90 %	426	334	328
к.к.	436	360	351



### Исследования опытных образцов

Из отобранных с промышленных установок объектов исследования: ЛВГО, ДТГК и г/о ПДФ, были приготовлены опытные образцы судового маловязкого топлива, различающиеся соотношением базовых компонентов.

Все полученные образцы исследовались по таким характеристикам, как содержание серы, вязкость, плотность и температура застывания. Целью этих измерений было определение интервалов возможных значений балансовых соотношений компонентов в смеси. Так, предъявляемым требованиям к СМТ удовлетворили 9 опытных образцов, чьи физико-химические характеристики представлены в таблице 3.

**Таблица 3** – Физико-химические характеристики и компонентный состав опытных образцов

Показатель	Опытные образцы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Содержание серы, масс. %	0,959	0,738	0,518	0,444	0,298	0,956	0,732	0,513	0,301
Вязкость, мм <sup>2</sup> /с при 40 °С	6,76	5,88	5,77	5,51	4,72	2,911	2,097	1,428	1,171
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	865	857	848	845	839	855	842	828	815
Температуры застывания, °С	+6	-1	+1	+1	-5	-5	-7	-15	-17

### Приемистость депрессорно-диспергирующей присадки к опытным образцам

В каждый полученный образец была добавлена депрессорно-диспергирующая присадка ДПН-172, представляющая собой 10 масс. % раствор активного вещества на основе сополимера этилена с винилацетатом в толуоле, в количестве от 0,01 до 0,75 масс. %.

Данные, полученные в ходе эксперимента, представлены в таблице 4.

**Таблица 4** – Влияние присадки ДПН-172 на низкотемпературные свойства компонентов и образцов судовых маловязких топлив

Образец	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Концентрация присадки ДПН-172, масс. %									
0	+6	-1	+1	+1	-5	-5	-7	-15	-17
0,01	0	-3	-4	-6	-9	-7	-10	-17	-20
0,025	-14	-15	-16	-16	-17	-16	-14	-22	-24
0,05	-20	-21	-25	-25	-27	-27	-23	-29	-32
0,1	-24	-27	-31	-32	-31	-43	-35	-39	-43
0,25	-37	-37	-41	-41	-41	-49	-39	-43	-47
0,5	-47	-47	-47	-47	-47	-49	-43	-46	-48
0,75	-43	-43	-45	-45	-45	-46	-37	-42	-45
Максимальная депрессия, °С	53	46	48	48	42	44	36	31	31

Из полученных данных видно, что наибольшее влияние наблюдается у 1-го образца с добавлением присадки 0,5 масс. %, максимальная депрессия которого составила 53 °С. Дальнейшее добавление присадки к данному образцу является нерациональным. Наименьшую же эффективность присадки можно наблюдать у образцов под номерами 8 и 9, максимальная депрессия которых составила лишь 31 °С при добавлении присадки в концентрации 0,5 %.

### Выводы по экспериментальной части

При исследовании эффективности действия присадки ДПН-172 на низкотемпературные свойства опытных образцов судовых маловязких топлив установлено следующее:

- максимальная депрессия для образца № 1 составляет 53 °С при концентрации присадки ДПН-172 0,5 %, снизив температуру застывания с +6 до -47 °С;
- максимальная депрессия для образца № 2 составляет 46 °С при концентрации присадки ДПН-172 0,5 %, снизив температуру застывания с -1 до -47 °С;
- максимальная депрессия для образцов № 3 и № 4 составляет 48 °С при концентрации присадки ДПН-172 0,5 %, снизив их температуру застывания с +1 до -47 °С;
- максимальная депрессия для образца № 5 составляет 42 °С при концентрации присадки ДПН-172 0,5 %, снизив температуру застывания с -5 до -47 °С;
- максимальная депрессия для образца № 6 составляет 44 °С при концентрации присадки ДПН-172 0,25 % и 0,5 %, снизив температуру застывания с -5 до -49 °С;



- максимальная депрессия для образца № 7 составляет 36 °С при концентрации присадки ДПН-172 0,5 %, снизив температуру застывания с –7 до –43 °С;
- максимальная депрессия для образца № 8 составляет 31 °С при концентрации присадки ДПН-172 0,5 %, снизив температуру застывания с –15 до –46 °С;
- максимальная депрессия для образца № 9 составляет 31 °С при концентрации присадки ДПН-172 0,5 %, снизив температуру застывания с –17 до –48 °С;

На основании анализа полученных данных, можно рекомендовать данную присадку в качестве депрессора к СМТ.

### Литература:

1. Ахметов А.Ф. Основы нефтепереработки : учебное пособие / А.Ф. Ахметов, Н.К. Кондрашева, Е.В. Герасимова. – Уфа, 2011. – 301 с.
2. Данилов А.М. Применение присадок в топливах для автомобилей: справ.изд. – М. : Химия, 2000. – 232 с.
3. Кондрашева Н.К. Применение отечественных депрессорных присадок для улучшения низкотемпературных свойств судового маловязкого топлива / Н.К. Кондрашева, Д.О. Кондрашев, В.А. Рудко // Новые горючие и смазочные материалы с присадками: сб. тр. VIII Международной научно-практической конф. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 145–150.
4. Кондрашева Н.К. Влияние депрессорных присадок на основе сополимеров этилена с винилацетатом на низкотемпературные свойства компонентов легких и тяжелых марок судовых топлив // Нефтехимия. – 2013. – № 5. – Т. 53. – С. 384–392.
5. Effect of Hydrocarbon Composition on Quality and Operating Characteristics of Middle Distillate Fractions and Low-Viscosity Marine Fuels / N.K. Kondrasheva [etc.] // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2017. – V. 53. – P. 163–172.
6. Митусова Т.Н. Судовые топлива. Основные эксплуатационные характеристики / Т.Н. Митусова, Е.В. Непомнящая // Мир нефтепродуктов. – 2009. – № 9. – С. 58–61.
7. Холопов К.В. Бункерный рынок и бункерные операции как фактор обеспечения международного морского судоходства / К.В. Холопов, О.В. Соколова // Российский внешнеэкономический вестник. – 2015. – № 7. – С. 98–114.

### References:

1. Akhmetov A.F. Oil processing bases : manual / A.F. Akhmetov, N.K. Kondrasheva, E.V. Gerasimova. – Ufa, 2011. – 301 p.
2. Danilov A.M. Use of additives in fuels for cars: reference prod. – M. : Chemistry, 2000. – 232 p.
3. Kondrasheva N.K. Use of domestic depressor additives for improvement of low-temperature properties of ship low-viscous fuel / N.K. Kondrasheva, D.O. Kondrashev, V.A. Rudko // New combustible and lubricants with additives : The VIII International scientific and practical conf. – SPb. : Politekhn publishing house, 2015. – P. 145–150.
4. Kondrasheva N.K. Influence of depressor additives on the basis of ethylene copolymers with vinyl-acetic ester on low-temperature properties of components of easy and heavy brands of ship fuels // Petrochemistry. – 2013. – № 5. – V. 53. – P. 384–392.
5. Effect of Hydrocarbon Composition on Quality and Operating Characteristics of Middle Distillate Fractions and Low-Viscosity Marine Fuels / N.K. Kondrasheva [etc.] // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2017. – V. 53. – P. 163–172.
6. Mitusova T.N. Ship fuels. Main operational characteristics / T.N. Mitusova, E.V. Nepomnyaschaya // World of oil products. – 2009. – № 9. – P. 58–61.
7. Holopov K.V. Bunker market and bunker operations as factor of ensuring the international sea navigation / K.V. Holopov, O.V. Sokolova // Russian external economic messenger. – 2015. – № 7. – P. 98–114.