

Научная статья

УДК 662.7

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-4-612-619>



## Влияние физико-химических свойств депрессорных присадок на их эффективность в дизельных топливах

Николай Семенович Яковлев, Славик Гамид оглы Агаев

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Яковлев Николай Семенович, jakovlevns@tyuiu.ru

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию влияния физико-химических свойств депрессорных присадок на их эффективность в дизельных топливах различного химического и фракционного состава. Использовано дизельное топливо утяжеленного фракционного состава, летнее и судовое дизельные топлива. Определены физико-химические свойства топлив: температура помутнения, температура застывания, плотность, вязкость, фракционный состав и содержание углеводородов, образовавших комплекс с карбамидом. Установлено содержание и молекулярно-массовое распределение индивидуальных *n*-алканов в дизельных топливах. Использованы зарубежные депрессорно-диспергирующие присадки: *Dodiflow* с шифрами 4971, 5416, 5817 и 7118, *Keroflux* с шифрами 3501, 5696a и *Ofi-8863*. Из товарной формы присадок методом диализа через полупроницаемые резиновые мембраны выделены их активные начала. Определены температура каплепадения активного начала присадок, их характеристическая вязкость в керосине и показатель преломления при 100 °С. По данным инфракрасной спектроскопии активного начала присадок определено содержание звеньев винилацетата и разветвленность алифатических радикалов депрессорных присадок. Установлена взаимосвязь между физико-химическими свойствами депрессорно-диспергирующих присадок и их эффективностью в дизельных топливах. Наибольшей эффективностью в топливах обладают присадки с относительно высокой температурой плавления, со средней характеристической вязкостью и низкой разветвленностью алифатических звеньев в структуре полимеров. Расход присадок для получения максимальной депрессии температуры застывания снижается с переходом от летнего к судовому топливу и далее к дизельному топливу утяжеленного фракционного состава. Для прогнозирования эффективности депрессорных присадок предложена комплексная величина  $t_{кп}/C_{ВА}$ , представляющая собой соотношение их температур каплепадения  $t_{кп}$  и содержания в присадках звеньев винилацетата  $C_{ВА}$ . В области значений  $t_{кп}/C_{ВА}$  3,02–4,00 присадки по их депрессорным свойствам являются универсальными. Установлена корреляция между показателем преломления  $n_{100}^D$  присадок и комплексной величиной  $t_{кп}/C_{ВА}$  ( $R^2 = 0,975$ ).

**Ключевые слова:** депрессорно-диспергирующие присадки, дизельные топлива, диализ присадок, нефтепродукты, ИК-спектроскопия, характеристическая вязкость

**Благодарности.** Исследование выполнено с использованием оборудования ЦКП «Центр перспективных исследований и инновационных разработок» Тюменского индустриального университета.

**Для цитирования:** Яковлев Н. С., Агаев С. Г. Влияние физико-химических свойств депрессорных присадок на их эффективность в дизельных топливах // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. N 4. С. 612–619. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-4-612-619>.

### CHEMICAL TECHNOLOGY

Original article

## Influence of physicochemical properties of depressor additives on their performance in diesel fuels

Nikolay S. Yakovlev, Slavik G. Agaev

Tyumen industrial university, Tyumen, Russian Federation

Corresponding author: Nikolay S. Yakovlev, jakovlevns@tyuiu.ru

**Abstract.** The work investigates the influence of the physicochemical properties of depressor additives on their performance in diesel fuels of various chemical and fractional compositions. Heavy, summer and marine

© Яковлев Н. С., Агаев С. Г., 2022

diesel fuels were used. The following physicochemical properties of fuels were determined: cloud point, freezing point, density, viscosity, fraction composition and hydrocarbon content that formed a complex with carbamide. The content and molar mass distribution of individual *n*-alkanes in diesel fuels were determined. The following foreign depressant-dispersing additives were used: Dodiflow with codes 4971, 5416, 5817 and 7118, Keroflux with codes 3501, 5696a and Ofi-8863. Their active agents were isolated from the commercial additives by dialysis using semi-permeable rubber membranes. The dropping point of the active agents, their intrinsic viscosity in kerosene and the refractive index at 100 °C were identified. The content of vinyl acetate components and the degree of branching of aliphatic radicals of depressor additives were determined using infrared spectroscopy of the active agents. The relationship between the physicochemical properties of depressor-dispersing additives and their performance in diesel fuels was established. Additives characterised by a relatively high melting point, an average intrinsic viscosity and low branching of aliphatic compounds in the polymer structure exhibit the best performance in fuels. The consumption of additives to achieve the maximum depression of freezing point decreases with the transition from summer to marine fuel and further to heavy diesel fuel. A complex  $t_{кп}/C_{BA}$  value, comprising the ratio of the dropping points  $t_{кп}$  and the content of vinyl acetate components in the additives, was proposed as a means of predicting the efficiency of depressant additives  $C_{BA}$ . In the range of  $t_{кп}/C_{BA}$  values of 3.02–4.00 the additives have universal depressant properties. A correlation was established between the refractive index  $n_{100}^D$  of additives and the complex value  $t_{кп}/C_{BA}$  ( $R^2 = 0.975$ ).

**Keywords:** depressor-dispersing additives, diesel fuels, dialysis of additives, petroleum products, IR spectroscopy, intrinsic viscosity

**Acknowledgements.** The study was carried out using the equipment of the Center for Advanced Research and Innovative Developments of the Tyumen Industrial University.

**For citation:** Yakovlev N. S., Agaev S. G. Influence of physicochemical properties of depressor additives on their performance in diesel fuels. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(4):612-619. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-4-612-619>.

## ВВЕДЕНИЕ

Использование депрессорных присадок (ДП) в дизельных топливах (ДТ) является одним из наиболее экономически целесообразных методов улучшения их низкотемпературных свойств [1–6]. Депрессорные присадки повышают такие показатели качества ДТ, как текучесть (температура застывания), температура помутнения и предельная температура фильтруемости (ПТФ). Депрессорные присадки должны также предотвращать коагуляцию и седиментацию кристаллизующихся парафиновых углеводородов [7]. Эффективность депрессорных присадок определяется их химическим строением [2, 8, 9], а также физико-химическими свойствами ДТ [1, 3, 10, 11]. Считается, что для понижения температуры застывания ДТ наиболее эффективны депрессорные присадки на основе полиакрилатов, поливинилацетатов и их сополимеров [2, 8, 9]. Азотсодержащие депрессорные присадки более эффективны при снижении предельной температуры фильтруемости и температуры помутнения (начала кристаллизации) ДТ [11–13]. Эффективность депрессорных присадок для снижения температуры застывания определяется содержанием и молекулярно-массовым распределением *n*-алканов в ДТ [1, 10, 14], содержанием в ДТ ароматических углеводородов [6], а также температурами начала помутнения парафиновых углеводородов и температурами помутнения депрессорных присадок в ДТ [1, 3, 6, 11]. Высокую эффективность ДП в ДТ достигают оптимизацией молекулярной массы присадок и оптимизацией гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ) полярных и углеводородных структур присадок [2, 3, 11, 12].

ГЛБ и молекулярная масса присадок определяют их температуру плавления и температуру помутнения в ДТ. Следовательно, температура плавления является комплексной характеристикой депрессорных присадок и косвенно учитывает их молекулярную массу, природу и содержание в них полярной части [11–13]. Полярная часть присадок определяет их межмолекулярные взаимодействия с *n*-алканами с образованием ассоциированных комплексов в предкристаллизационной области ДТ и в процессе формирования структуры и формы кристаллов парафина [4, 9–12].

Целью работы является исследование влияния физико-химических свойств депрессорных присадок на их эффективность в ДТ.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследование эффективности депрессорных присадок проводили на ДТ утяжеленного фракционного состава, летнем и судовом ДТ (табл. 1). Молекулярно-массовое распределение индивидуальных *n*-алканов в ДТ определяли на хроматографе Кристалл-5000 (ЗАО СКБ «Хроматэк», Россия). По данным хроматографии *n*-алканы распределены на низкоплавкие ( $\Sigma C_{12-14}$ ), среднеплавкие ( $\Sigma C_{15-18}$ ) и высокоплавкие ( $\Sigma C_{19+}$ ) (см. табл. 1). Температуру застывания ДТ определяли по ГОСТ 20287-91, температуру их помутнения – по ГОСТ 5066-2018.

Содержание углеводородов, образовавших комплекс с карбамидом, определяли известным способом [15]. Другие показатели ДТ приняты по производственным данным. Использованы зарубежные депрессорно-диспергирующие присадки: Dodiflow с шифрами 4971, 5416, 5817 и 7118,

Таблица 1. Физико-химические свойства дизельных топлив  
 Table 1. Physical and chemical properties of diesel fuels

Показатели		Значения показателей дизельных топлив			
		летнее	судовое	утяжеленного фракционного состава	
Температура помутнения, °С		-4,0	+2,0	+6,0	
Температура застывания, °С		-13,0	-5,0	0	
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>		826,0	844,0	853,0	
Вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с		4,7	6,9	9,3	
Фракционный состав, об. %		Выкипает при температуре, °С			
		10	184,0	187,0	291,0
		50	270,0	285,0	335,0
		90	360,0	366,0	375,0
		96	381,0	394,0	383,0
Содержание фракций <i>n</i> -алканов в дизельных топливах от общей суммы в топливе, масс. %	$\sum C_{12-14}$	47,9	23,3	1,1	
	$\sum C_{15-18}$	31,3	37,1	20,6	
	$\sum C_{19+}$	20,8	39,6	78,3	
Содержание углеводородов, образовавших комплекс с карбамидом, масс. %		20,8	21,0	32,8	
Средняя температура плавления <i>n</i> -алканов дизельных топлив по данным хроматографии, °С		2,3	25,0	36,1	
Температура вспышки в закрытом тигле, °С		62,0	66,0	–	
Массовая доля серы, %		0,2	0,4	–	

Keroflux с шифрами 3501, 5696a и Ofi-8863<sup>1,2</sup> [16]. Выбор присадок обусловлен их применением на нефтеперерабатывающих заводах, где были отобраны исследуемые топливные фракции. Товарные формы присадок представляют собой активное начало присадок в углеводородных растворителях. Активное начало присадок из их товарной формы выделяли методом диализа через полупроницаемые резиновые мембраны [17]. Диализ присадок проводился с использо-

ванием в качестве растворителя *n*-гексана с получением концентрата (активное начало присадок) и диализата.

По результатам диализа определяли содержание активного начала присадок в товарной форме (табл. 2).

Определены следующие физико-химические свойства активного начала присадок: температура каплепадения  $t_{кп}$  по Уббелюде (ГОСТ 6793-74), характеристическая вязкость, показатель пре-

Таблица 2. Физико-химические свойства активного начала депрессорных присадок  
 Table 2. Physical and chemical properties of the active principle of pour point depressants

Показатели	Dodiflow и их шифры				Keroflux и их шифры		Ofi 8863
	4971	5416	5817	7118	3501	5696a	
$\eta_{уд}/C, *10^2$	5,78	8,76	6,89	5,41	3,29	8,41	5,47
$t_{кп}, ^\circ C$	27,5	69	64	64	44	47	56
$C_{BA}, \% \text{ масс.}$	17,4	14,7	21,2	16,0	19,5	19,8	28,3
$t_{кп}/C_{BA}$	1,58	4,69	3,02	4,00	2,26	2,37	1,98
$n_{100}^D$	1,443	1,468	1,457	1,462	1,446	1,448	1,444
$C_{ак}^{ДП}, \% \text{ масс.}$	16	26	36	33	23	19	35

Примечание.  $C_{BA}$  – содержание звеньев винилацетата в присадках;  $n_{100}^D$  – показатель преломления присадок при 100 °С;  $C_{ак}^{ДП}$  – содержание активного начала в присадках, % масс.;  $\eta_{уд}/C, *10^2$  – характеристическая вязкость присадок;  $t_{кп}$  – температура каплепадения присадок.

<sup>1</sup>Refinery Additives for Middle Distillates // BASF [Электронный ресурс]. URL: <https://automotive-transportation.basf.com/global/en/fuel-and-lubricants/fuel-and-lubricant-solutions/refinery-additives-for-middle-distillates.html> (26.08.2022).

<sup>2</sup>Присадка для дизтоплива OFI // Справочно-информационная система «Роспроизводитель» [Электронный ресурс]. URL: <http://rosproizvoditel.ru/goods/2794-prisadka-dlya-diztoplivo-ofi-76507660-depressornaya> (26.08.2022).

ломления при 100 °С  $n_{100}^D$  (рефрактометр Аббе NAR-2Т, Япония). ИК-спектры активного начала присадок сняты на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 380 (Thermo Electron Corporation, США) (табл. 3).

Характеристическую вязкость присадок  $\eta_{уд}/C$  определяли в растворе керосина марки РТ на автоматическом вискозиметре (AND Vibroviskometer SV-10, Япония). Характеристическая вязкость присадок позволяла оценить относительную среднюю молярную массу активного начала присадок: большому значению вязкости соответствует большая молярная масса (см. табл. 2) [18].

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Физико-химические показатели ДТ изменяются в широких пределах. Содержание и молекулярно-массовое распределение *n*-алканов в ДТ отражается на их температуре застывания и помутнения (см. табл. 1). Физико-химические показатели депрессорных присадок также изменяются в широких пределах (см. табл. 2). Характеристические полосы поглощения в инфракрасной спектроскопии (ИКС) для концентратов в основном подтверждают данные производителей по химическому строению присадок. Данные ИКС использованы для расчета относительных интенсивностей  $\beta_i^A$  функциональных групп [19, 20] (см. табл. 3). По данным ИКС определено содержание звеньев винилацетата  $C_{BA}$ . Содержание звеньев винилацетата изменяется в пределах (см. табл. 2) от 14,7 (Dodiflow-5416) до 28,3 (Ofi-8863). Все присадки являются сополимерами этилена и винилацетата. В ИК-спектре присадки Keroflux-3501 присутствуют слабые полосы поглощения 1645 и 1548  $cm^{-1}$ , подтверждающие данные производителя о присутствии в присадке амидных групп<sup>1,2</sup>. В другой присадке этой фирмы Keroflux-5696а вопреки утверждениям производителя такие полосы поглощения не обнаружены. Это может быть связано с неселективным диализом присадок и потерей азотсодержащих компонентов присадки с диализатом. Установлена корреляционная зависимость между показателем преломления при

100 °С  $n_{100}^D$  концентрата присадок и комплексной величиной  $t_{кп}/C_{BA}$ , выраженной отношением температуры каплепадения  $t_{кп}$  концентрата присадок и содержанием звеньев винилацетата ( $C_{BA}$ ) в нем (рис. 1). Для характеристики разветвленности алифатических звеньев в структуре присадок использована относительная интенсивность характеристических полос поглощения в ИКС активного начала депрессорных присадок  $\beta_{1461}^{1372}$  [16, 19, 20] (см. табл. 3).

Эффективность депрессорных присадок оценивали по максимальной депрессии температур застывания  $\Delta t_s^{max}$  и помутнения  $\Delta t_n^{max}$  топлив, а также по расходу присадок при  $\Delta t_s^{max}$  и  $\Delta t_n^{max}$  (табл. 4). Чем выше значения  $\Delta t_s^{max}$  и  $\Delta t_n^{max}$  и чем меньше расход присадок, тем более эффективны присадки.

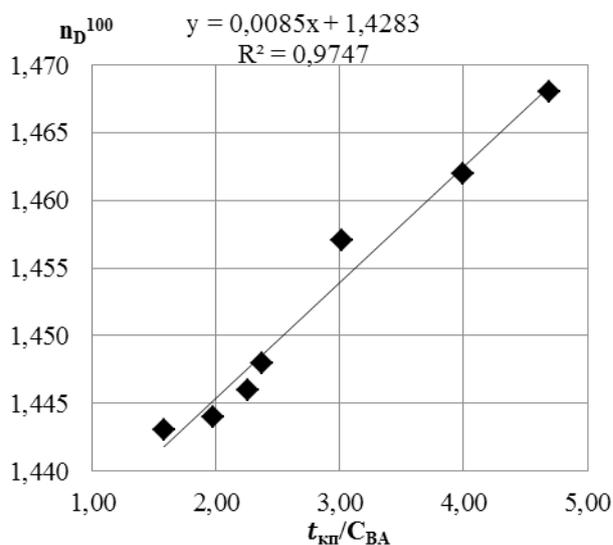


Рис. 1. Корреляционная зависимость показателя преломления при 100 °С  $n_{100}^D$  концентрата присадок (y) от комплексной величины  $\frac{t_{кп}}{C_{BA}}$  (x)

Fig.1. Correlation dependence of the refractive index at 100 °C of the additive concentrate (y)  $n_{100}^D$  on the complex value  $\frac{t_{кп}}{C_{BA}}$  (x)

Таблица 3. Относительная интенсивность  $\beta_i^A$  характеристических полос поглощения в ИК-спектроскопии активного начала депрессорных присадок

Table 3. Relative intensity  $\beta_i^A$  of the characteristic absorption bands in the IR spectroscopy of the active principle of the pour point depressants

функциональные группы $\beta_i^A$	Функциональные группы	$\beta_i^{A*}$	Dodiflow и их шифры				Keroflux и их шифры		OFI 8863
			4971	5416	5817	7118	3501	5696а	
ацетатные	$\beta_{1461}^{1253}$	2,78	2,99	2,56	2,20	3,00	2,74	3,81	
	$\beta_{1461}^{1730}$	2,06	2,44	1,92	1,79	2,27	2,31	3,15	
	$\beta_{1372}^{1253}$	2,92	2,89	2,86	2,67	2,95	3,06	3,32	
	$\beta_{1372}^{1730}$	2,17	2,36	2,14	2,17	2,23	2,57	2,75	
N-содержащие	$\beta_{2850}^{1645}$	–	–	–	–	0,27	–	–	
алифатические	$\beta_{1461}^{1372}$	0,95	1,03	0,90	0,82	1,02	0,90	1,15	

Примечание. \* – отношение интенсивности полос поглощения функциональной группы относительно базовой полосы поглощения А.

Эффективность присадок определяется их структурой и физико-химическими свойствами, а также физико-химическими свойствами ДТ (см. табл. 1–4). В топливе утяжеленного фракционного состава наиболее эффективны присадки Dodiflow-5416, 5817 и 7118 (см. табл. 4). Все три присадки имеют высокую температуру каплепадения концентрата – 64–69 °С. Присадки характеризуются высокими значениями их характеристической вязкости (см. табл. 2). Алифатические звенья в структуре этих присадок по данным ИК-спектроскопии (см. табл. 3) имеют невысокую разветвленность. Высокую эффективность в топливе утяжеленного фракционного состава проявляет присадка Ofi-8863, отличающаяся от других присадок аномальными свойствами (см. табл. 2, 3). Другие присадки, характеризующиеся неблагоприятным сочетанием физико-химических показателей, менее эффективны в ДТ утяжеленного фракционного состава.

В летнем топливе наибольшая эффективность у присадок Dodiflow-5817 и 7118. Максимальная депрессия температуры застывания в их присутствии  $\Delta t_3^{max}$  более 32 °С (см. табл. 4). Другие присадки, характеризующиеся неблагоприятным сочетанием физико-химических показателей, менее эффектив-

ны в этом топливе. Присадка Ofi-8863 в летнем ДТ из-за ее высокой полярности (содержание винилацетатных звеньев в ее структуре 28,3 масс. %, см. табл. 2) может повышать температуру помутнения летнего ДТ при ее содержании 0,5–1,0% масс. с минус 4 до 1 °С (данные в табл. 4 не приводятся).

Максимальная депрессия температуры застывания в судовом ДТ (29–35 °С) наблюдается для присадок Dodiflow-5817 и 7118. Менее эффективны по депрессии температуры застывания другие присадки серии Dodiflow, присадка Ofi-8863 и присадки серии Keroflux. Однако эти присадки характеризуются относительно низким расходом для достижения максимальной депрессии температуры застывания. При приблизительно одинаковой депрессии температуры застывания ДТ в присутствии присадок серии Dodiflow расход присадок уменьшается с утяжелением топлива (см. табл. 4).

Депрессорно-диспергирующие присадки по их влиянию на температуру помутнения ДТ малоэффективны (см. табл. 4). Несколько более эффективны присадки в судовом топливе. При этом расход присадок (0,01–0,1 масс. %) самый низкий по сравнению с этими же присадками в 2-х других топливах. Делать выводы по снижению темпера-

**Таблица 4.** Влияние депрессорных присадок на температуру застывания и помутнения дизельных топлив  
**Table 4.** The effect of pour point depressants on the pour point and cloud point of diesel fuel

ДТ	Показатели по $\Delta t_3^{max}$ и $\Delta t_n^{max}$ при $C_{дп}$ , % масс.	Максимальная депрессия температуры застывания $\Delta t_3^{max}$ и помутнения $\Delta t_n^{max}$ дизельных топлив (°С) в присутствии присадок						
		Dodiflow 4971	Dodiflow 5416	Dodiflow 5817	Dodiflow 7118	Keroflux 3501	Keroflux 5696a	Ofi 8863
летнее	температура застывания (исходная -13 °С)							
	$\Delta t_3^{max}$	20	19	>32	>32	18	19	20
	$C_{дп}$ , % масс.	0,5–1,0	0,5	1,0	1,0	0,1	0,1	0,1–0,5
	температура помутнения (исходная -4 °С)							
	$\Delta t_n^{max}$ , °С	0	0	2	1	0	1	1
	$C_{дп}$ , % масс.	0,01–1,0	0,01–1,0	0,1	0,1	0,01–1,0	0,1	0,1
судовое	температура застывания (исходная -5 °С)							
	$\Delta t_3^{max}$	19	21	29	35	23	26	22
	$C_{дп}$ , % масс.	0,25	0,05	0,5–1,0	0,25	0,1	0,05–0,1	0,1
	температура помутнения (исходная 2 °С)							
	$\Delta t_n^{max}$ , °С	0,5	1	2	2	2	1	2
	$C_{дп}$ , % масс.	0,01	0,05	0,05	0,05	0,01	0,01	0,1
УФС	температура застывания (исходная 0 °С)							
	$\Delta t_3^{max}$	23	31	32	35	22	12–13	31
	$C_{дп}$ , % масс.	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,05
	температура помутнения (исходная 6 °С)							
	$\Delta t_n^{max}$ , °С	1	0	1	1	0	1	0
	$C_{дп}$ , % масс.	0,1	0,01–1,0	0,5	1,0	0,01–1,0	0,5	0,01–1,0

Примечание. Обозначения:  $\Delta t_3^{max}$  и  $\Delta t_n^{max}$  – максимальная депрессия температуры застывания и помутнения соответственно;  $C_{дп}$  – содержание присадки при  $\Delta t_3^{max}$  и  $\Delta t_n^{max}$ .

туры помутнения топлив в присутствии присадок не следует, поскольку обнаруженные эффекты незначительны.

Различия в эффективности депрессорных присадок и выделенных из них методом диализа [17] концентратов и диализатов показаны на примере присадки Keroflux-3501 в ДТ утяжеленного фракционного состава (рис. 2).

Максимальная депрессия температуры застывания в ДТ в присутствии концентрата присадки обнаруживается при более низком его содержании по сравнению с присадкой. Некоторым депрессорным действием обладает и диализат этой присадки. Разделение присадок происходит по молекулярной массе компонентов. Различий в действии присадки и ее компонентов на температуру помутнения не обнаружено. Преимуществом выделения активного начала методом диализа [17] перед отгонкой растворителя из товарной формы присадок [16, 20] является использование низких температур, которые исключают полимеризацию компонентов, входящих в состав присадок.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые для выделения активного начала депрессорных присадок из их товарной формы использован диализ через резиновые полупроницаемые мембраны. Наибольшей эффективностью в топливах обладают присадки с относительно высокой температурой плавления, со средней характеристической вязкостью и низкой разветвленностью алифатических звеньев в структуре полимеров. Расход присадок для получения максимальной депрессии температуры застывания снижается с переходом от летнего к судовому и далее к ДТ утяжеленного фракционного состава. Для прогнозирования эффективности депрессорных присадок

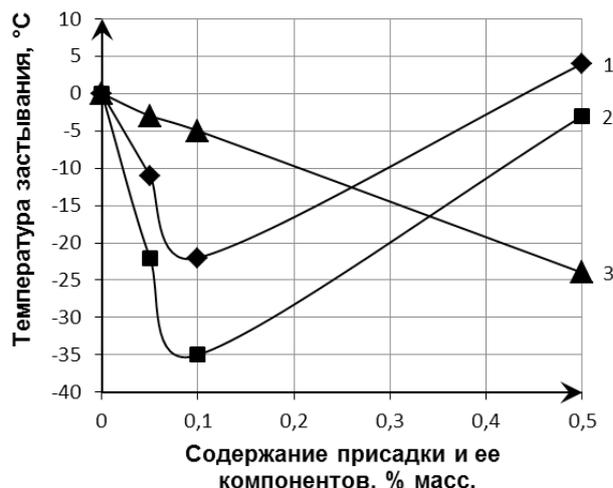


Рис. 2. Зависимость температуры застывания дизельного топлива утяжеленного фракционного состава от содержания присадки Keroflux-3501 и ее компонентов: 1 – присадка; 2 – концентрат; 3 – диализат

Fig. 2. Relationship between the pour point of heavy fractional diesel fuel and the content of Keroflux-3501 additive and its components: 1 – additive; 2 – concentrate; 3 – dialysate

предложена комплексная величина  $t_{кр}/C_{BA}$ , характеризующаяся соотношением их температуры каплепадения и содержания в присадках звеньев винилацетата  $C_{BA}$ . В области значений  $t_{кр}/C_{BA}$  3,02–4,00 присадки по их депрессорным свойствам являются универсальными. Установлена корреляция между показателем преломления  $n_{100}^D$  присадок и комплексной величиной  $t_{кр}/C_{BA}$ .

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Башкатова С. Т. Присадки к дизельным топливам: монография. М.: Химия, 1994. 256 с.
2. Feihe R., Yilin L., Bin S., Chenchen W., Jincan Ya., Hualin L., et al. Structure regulation and influence of comb copolymers as pour point depressants on low temperature fluidity of diesel fuel // *Energy*. 2022. Vol. 254. P. 124438. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124438>.
3. Kurniawan M., Norrman J., Paso K. Pour point depressant efficacy as a function of paraffin chain-length // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2022. Vol. 212. P. 110250. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110250>.
4. Kirgina M., Bogdanov I., Altynov A., Belinskaya N., Orlova A., Nikonova N. Studying the impact of different additives on the properties of straight-run diesel fuels with various hydrocarbon compositions // *Oil & Gas Science and Technology*. 2021. Vol. 76, no. 40. P. 1–13. <https://doi.org/10.1051/ogst/2021018>.
5. Kondrasheva N. K., Rudko V. A., Kondrashev D. O., Konoplin R. R., Smyshlyayeva K. I., Shakleina V. S. Functional influence of depressor and depressor-dispersant additives on marine fuels and their distillates components // *Petroleum Science and Technology*.

2018. Vol. 36, no. 24. P. 2099–2105. <https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1533858>.
6. Han S., Zeng K., Shen S. D., Tan F. Z. Reaction of pore depressants and solvents // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2011. Vol. 46, no. 6. P. 378–384. <https://doi.org/10.1007/s10553-011-0238-7>.
7. Chen F. F., Liu J. B., Yang T. S., Yin S. Y., Su B. T., Xie M. Y., et al. Influence of maleic anhydride-co-methyl benzyl acrylate copolymers modified with long-chain fatty amine and long-chain fatty alcohol on the cold flow properties of diesel fuel // *Fuel*. 2020. Vol. 268. P. 117392. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117392>.
8. Li X., Yuan M., Xue Y., Lin H., Han Sh. Tetradecyl methacrylate-N-methylolacrylamide copolymer: a low concentration and high-efficiency pour point depressant for diesel // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022. Vol. 642. P. 128672. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128672>.
9. Hualin L., Sua Y., Baoting S., Yuan X., Sheng H. Research on combined-pour point depressant of methacrylate-acrylamide copolymers and ethylene-vinyl acetate copolymers for diesel fuel // *Fuel*. 2020. Vol. 290. P. 120002. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120002>.

10. Burov E. A., Ivanova L. V., Koshelev V. N., Sorokina A. S. Influence of group hydrocarbon composition of diesel fuels on depressant additive efficiency // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2020. Vol. 56, no. 2. P. 149–156. <https://doi.org/10.1007/s10553-020-01123-9>.

11. Агаев С. Г., Гуров Ю. П., Землянский Е. О. Фазовые переходы и структурообразование в модельных системах твердых углеводородов и депрессорных присадок // *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2004. N 9. С. 37–40.

12. Агаев С. Г., Гребнев А. Н., Землянский Е. О. Ингибиторы парафиновых отложений бинарного действия // *Нефтепромысловое дело*. 2008. N 9. С. 46–52.

13. Yang T. S., Wu J. J., Yuan M. X., Li X., Yin S. Y., Su B. T., et al. Influence of polar groups on the depressive effects of polymethacrylate polymers as cold flow improvers for diesel fuel // *Fuel*. 2021. Vol. 290. P. 120035. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120035>.

14. Caoa J., Liua L., Liua Ch., Heab Ch. Phase transition mechanisms of paraffin in waxy crude oil in the absence and presence of pour point depressant // *Journal of Molecular Liquids*. 2022. Vol. 345. P. 116989. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116989>.

15. Ismailov A. G., Babaev I. D., Agaeva S. M., Abdullaev E. Sh., Shteinshnaider G. M., Akhun-

dova M. M., et al. Increasing the yields of paraffins and winter-grade diesel fuel in urea dewaxing // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 1980. Vol. 16, no. 5-6. P. 372–374. <https://doi.org/10.1007/BF00727152>.

16. Зинина Н. Д., Симанская К. Ю., Павловская М. В., Гришин Д. Ф. Депрессорно-диспергирующая присадка для гидроочищенного экологически чистого дизельного топлива // *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2014. N 8. С. 37–40.

17. Klevtsov V. P., Fialko M. M., Gankina N. L., Rassadina N. F., Fridman R. M. Dialysis of additives in rubber membranes // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 1973. Vol. 9, no. 4. P. 276–278. <https://doi.org/10.1007/bf00730417>.

18. Yigit Y., Kilislioglu A., Karakus S., Baydogan N. Determination of the intrinsic viscosity and molecular weight of poly(methyl methacrylate) blends // *Journal of Investigations on Engineering & Technology*. 2019. Vol. 2, no. 2. P. 34–39.

19. Stuart B. H. *Infrared spectroscopy: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons, 2004. 224 p. <https://doi.org/10.1002/0470011149>.

20. Cristante M., Selves J.-L., Grassy G., Orrit J., Garland E. Choice of paraffin inhibitors for crude oils by principal component analysis // *Analytica Chimica Acta*. 1990. Vol. 229, no. 2. P. 267–276. [https://doi.org/10.1016/s0003-2670\(00\)85138-7](https://doi.org/10.1016/s0003-2670(00)85138-7).

## REFERENCES

1. Bashkatova S. T. *Additives to diesel fuels: monograph*. Moscow: Khimiya; 1994, 256 p. (In Russian).

2. Feihe R., Yilin L., Bin S., Chenchen W., Jincan Ya., Hualin L., et al. Structure regulation and influence of comb copolymers as pour point depressants on low temperature fluidity of diesel fuel. *Energy*. 2022;254:124438. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124438>.

3. Kurniawan M., Norrman J., Paso K. Pour point depressant efficacy as a function of paraffin chain-length. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2022;212:110250. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110250>.

4. Kirgina M., Bogdanov I., Altynov A., Belinskaya N., Orlova A., Nikonova N. Studying the impact of different additives on the properties of straight-run diesel fuels with various hydrocarbon compositions. *Oil & Gas Science and Technology*. 2021;76(40):1-13. <https://doi.org/10.1051/ogst/2021018>.

5. Kondrasheva N. K., Rudko V. A., Kondrashev D. O., Konoplin R. R., Smyshlyaeva K. I., Shakleina V. S. Functional influence of depressor and depressor-dispersant additives on marine fuels and their distillates components. *Petroleum Science and Technology*. 2018;36(24):2099-2105. <https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1533858>.

6. Han S., Zeng K., Shen S. D., Tan F. Z. Reaction of pore depressants and solvents. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2011;46(6):378-384. <https://doi.org/10.1007/s10553-011-0238-7>.

7. Chen F. F., Liu J. B., Yang T. S., Yin S. Y., Su B. T., Xie M. Y., et al. Influence of maleic anhydride-co-methyl benzyl acrylate copolymers modified with long-chain

fatty amine and long-chain fatty alcohol on the cold flow properties of diesel fuel. *Fuel*. 2020;268:117392. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117392>.

8. Li X., Yuan M., Xue Y., Lin H., Han Sh. Tetradecyl methacrylate-N-methylolacrylamide copolymer: a low concentration and high-efficiency pour point depressant for diesel. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022;642:128672. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128672>.

9. Hualin L., Suya Y., Baoting S., Yuan X., Sheng H. Research on combined-pour point depressant of methacrylate-acrylamide copolymers and ethylene-vinyl acetate copolymers for diesel fuel. *Fuel*. 2020;290:120002. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120002>.

10. Burov E. A., Ivanova L. V., Koshelev V. N., Sorokina A. S. Influence of group hydrocarbon composition of diesel fuels on depressant additive efficiency. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2020;56(2):149-156. <https://doi.org/10.1007/s10553-020-01123-9>.

11. Агаев С. Г., Гуров Ю. П., Землянский Е. О. Phase transitions and structure formation in model systems of solid hydrocarbons and pour point depressants. *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2004;(9):37-40. (In Russian).

12. Агаев С. Г., Гребнев А. Н., Землянский Е. О. Binary wax inhibitors. *Нефтепромысловое дело = Oilfield Engineering*. 2008;(9):46-52. (In Russian).

13. Yang T. S., Wu J. J., Yuan M. X., Li X., Yin S. Y., Su B. T., et al. Influence of polar groups on the depressive effects of polymethacrylate polymers as cold flow improvers for diesel fuel. *Fuel*. 2021;290:120035. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120035>.

14. Caoa J., Liua L., Liua Ch., Heab Ch. Phase transition mechanisms of paraffin in waxy crude oil in the absence and presence of pour point depressant. *Journal of Molecular Liquids*. 2022;345:116989. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116989>.

15. Ismailov A. G., Babaev I. D., Agaeva S. M., Abdullaev E. Sh., Shteinshnaider G. M., Akhundova M. M., et al. Increasing the yields of paraffins and winter-grade diesel fuel in urea dewaxing. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 1980;16(5-6):372-374. <https://doi.org/10.1007/BF00727152>.

16. Zinina N. D., Simanskaya K. Yu., Pavlovskaya M. V., Grishin D. F. Depressor-dispersing additive for hydrocleared ecologically pure diesel fuel. *Neftepererabotka i neftekhimiya*. 2014;(8):37-40. (In Russian).

17. Klevtsov V. P., Fialko M. M., Gankina N. L.,

Rassadina N. F., Fridman R. M. Dialysis of additives in rubber membranes. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 1973;9(4):276-278. <https://doi.org/10.1007/bf00730417>.

18. Yigit Y., Kilislioglu A., Karakus S., Baydogan N. Determination of the intrinsic viscosity and molecular weight of poly(methyl methacrylate) blends. *Journal of Investigations on Engineering & Technology*. 2019;2(2):34-39.

19. Stuart B. H. *Infrared spectroscopy: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons; 2004, 224 p. <https://doi.org/10.1002/0470011149>.

20. Cristante M., Selves J.-L., Grassy G., Orrit J., Garland E. Choice of paraffin inhibitors for crude oils by principal component analysis. *Analytica Chimica Acta*. 1990;229(2):267-276. [https://doi.org/10.1016/s0003-2670\(00\)85138-7](https://doi.org/10.1016/s0003-2670(00)85138-7).

### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

#### **Н. С. Яковлев,**

к.т.н., доцент,  
Тюменский индустриальный университет,  
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38,  
Российская Федерация,  
[jakovlevns@tyuiu.ru](mailto:jakovlevns@tyuiu.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-1822-1795>

#### **С. Г. Агаев,**

д.т.н., профессор, главный научный сотрудник,  
Тюменский индустриальный университет,  
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38,  
Российская Федерация,  
[lagaslav13@mail.ru](mailto:lagaslav13@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-8671-6389>

### **Вклад авторов**

Н. С. Яковлев – выполнение экспериментальной работы;  
С. Г. Агаев, Н. С. Яковлев – написание и подготовка рукописи к печати.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

### **Информация о статье**

Поступила в редакцию 21.10.2022.  
Одобрена после рецензирования 16.11.2022.  
Принята к публикации 30.11.2022.

### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

#### **Nikolay S. Yakovlev,**

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,  
Tyumen Industrial University,  
38, Volodarsky St., 625000, Tyumen,  
Russian Federation,  
[jakovlevns@tyuiu.ru](mailto:jakovlevns@tyuiu.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-1822-1795>

#### **Slavik G. Agaev,**

Dr. Sci. (Engineering), Professor,  
Chief Researcher,  
Tyumen Industrial University,  
38, Volodarsky St., 625000, Tyumen,  
Russian Federation,  
[lagaslav13@mail.ru](mailto:lagaslav13@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-8671-6389>

### **Contribution of the authors**

N. S. Yakovlev – experiment execution;  
S. G. Agaev, N. S. Yakovlev – writing and preparing the manuscript for publication.

### **Conflict interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

### **Information about the article**

The article was submitted 21.10.2022.  
Approved after reviewing 16.11.2022.  
Accepted for publication 30.11.2022.