

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА СТАНДАРТА ЕВРО

к.х.н. Ходяков А.А.<sup>1</sup>, Хлопков С.В.<sup>1</sup>, к.т.н. Бернацкий В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский политехнический университет, Москва, Россия

vladislav\_bern@mail.ru

*Известно, что качество дизельного топлива характеризуется как эксплуатационными показателями, так и экологическими свойствами горючего. При этом введение современных норм и стандартов, которые связаны с модифицированием компонентного состава топлива, ставит задачу контроля физико-химических свойств дизельных топлив. Для решения поставленной задачи были исследованы пробы топлива, приобретенные у разных производителей горючего, и образцы дизельного топлива с неизвестной предысторией, хранящиеся длительное время в лабораторных условиях. Исследовали также и смеси топлива с керосином. Разбавленное керосином топливо при его эксплуатации снижает не только мощность, но и ресурс двигателя. Плотность объектов исследования измеряли нефтенсиметрами. Вязкость и фракционный состав топлив определяли, используя, соответственно, вискозиметр ВПЖ-4 и аппарат для разгонки нефтепродуктов АРНС-1Э. Цетановые числа измеряли индикатором ОКТАН-ИМ. В результате проведенных исследований установлено, что плотность, вязкость, фракционный состав дизельных топлив соответствуют представленным в ГОСТе нормам. Кислотность проб с длительным временем хранения и неизвестной предысторией больше значения показателя ГОСТа. Среднее значение цетанового числа дизельных топлив, измеренное индикатором ЦЧ ОКТАН-ИМ и отличающееся от требуемых регламентом параметров, идентично значению, представленному в Стандарте Мировой топливной хартии (стандарт ISO 5156). Во всех без исключения топливах присутствуют ненасыщенные и ароматические углеводороды. Показано, что в горючем, выпускаемом разными производителями, соотношение ненасыщенных и ароматических углеводородов может быть различным. Плотность, вязкость и другие показатели смеси, содержащей 10 % керосина, идентичны нормируемым значениям на дизельное топливо. Плотность смеси, содержащей 30 % керосина, не только ниже нормы, но и ниже измеренных значений плотности дизельных топлив.*

**Ключевые слова:** дизельное топливо, плотность, вязкость, фракционный состав, кислотность, цетановое число, цетановый индекс, ароматические углеводороды, ненасыщенные углеводороды.

## Введение

Известно, что качество дизельного топлива (ДТ) характеризуется как эксплуатационными показателями, так и экологическими свойствами горючего. При этом введение современных норм и стандартов, которые связаны с модифицированием компонентного состава топлива, ставит задачу контроля физико-химических свойств дизельных топлив [1–5].

Целью работы является исследование физико-химических свойств дизельного топлива стандарта Евро.

## Экспериментальная часть

Объектами исследования были образцы дизельного топлива (свежие пробы) летнего вида-ОБР-1, ОБР-2, ОБР-3, пробы керосина (КО-25 ТУ 38.401-58-10-01; КЕР), топливо с неизвестной предысторией и длительным временем хранения ТОП-1, ТОП-2, ТО-3, а также смеси дизельного топлива с керосином СМ-1 (70,0 %

об. ОБР-2 и 30,0 % об. КЕР) и СМ-2 (90,0 % об. ОБР-2 и 10,0 % об. КЕР).

Определение физико-химических характеристик проб указанных ранее объектов исследования проводили по стандартным методикам. Так, кинематическую вязкость ( $\nu$ ) измеряли с помощью капиллярного стеклянного вискозиметра ВПЖ-4, плотность ( $\rho$ ) – ареометром (нефтенсиметром). Кислотность (К, в мг КОН на 100 мл топлива) определяли титрованием спиртовым раствором КОН смесей проб горючего с 80 %-ным этанолом. Для индицирования избытка ОН<sup>-</sup> использовали кислотно-основной индикатор фенолфталеин (рН = 8,0 – 9,6).

Цетановое число (ЦЧ) объектов исследования измеряли индикатором ЦЧ ОКТАН-ИМ. Диапазон измерения цетановых чисел варьировался от 30 до 60 единиц. Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения ЦЧ составлял  $\pm 2$  единицы. Измерения ЦЧ проводили, используя заводскую калибровку индикатора ОКТАН-ИМ.

Определение присутствия в топливе ненасыщенных (олефиновых) углеводородов (алкенов) проводили, используя метод, основанный на взаимодействии алкенов с  $\text{KMnO}_4$  (качественное индицирование алкенов; при взаимодействии с алкенами из  $\text{KMnO}_4$  образуется  $\text{MnO}_2$ ).

Суммарное количество алкенов и ароматических углеводородов ( $C_{\text{срн}}$ , %) рассчитывали из соотношения:

$$C_{\text{срн}} = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{нас}}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $C_{\text{исх}}$  – масса исходной пробы топлива, г;  $C_{\text{нас}}$  – масса насыщенных углеводородов, г.

Массу насыщенных углеводородов определяли из опытов с концентрированной серной кислотой, проводимых в делительной воронке. Присутствующие в топливе алкены и ароматические углеводороды, взаимодействуя с  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , формируют в нижней части воронки сернокислотный слой (сульфирование). После отделения сернокислотной части (и промывки дистиллированной водой) оставшуюся в воронке жидкость, содержащую насыщенные углеводороды, взвешивали на порционных весах ВЛТЭ-150. Далее по уравнению (1) проводили расчет суммарного количества алкенов и ароматических углеводородов.

Фракционный состав проб объектов исследования определяли по температурам разгонки (перегонки) нефтепродукта. Температуру измеряли ртутным термометром, входящим в

комплект автоматического аппарата для разгонки нефтепродуктов АРНС-1Э [6].

### Обсуждение результатов

Из сравнения данных (табл. 1) с нормами ГОСТ 32511-2013 следует, что плотность и вязкость образцов топлив (ОБР-1, ОБР-2, ОБР-3, ТОП-1, ТОП-2, ТОП-3) идентичны параметрам  $\rho$  и  $\nu$ , приведенным в сносках.

Кислотность свежих образцов топлива (ОБР-1, ОБР-2, ОБР-3) составила 0,56 мг КОН на 100  $\text{см}^3$ , что ниже регламентируемого ГОСТом значения кислотности (табл. 1). Показатель К в пробах (с длительным временем хранения) ТОП-1, ТОП-2 и ТОП-3 больше значения ГОСТа (5 мг КОН на 100  $\text{см}^3$ ). Причем значение К в ТОП-3 превосходит норму в ~4 раза. Эти данные следует считать вполне закономерными, т. к. известно, что при длительном хранении дизельного топлива его кислотное число (из-за протекающих процессов окисления) возрастает [7].

Из сопоставления данных (табл. 2) следует, что процент отогнанного продукта при указанных в таблице температурах соответствует представленным в ГОСТе нормам. Однако обращает на себя внимание то, что в свежих пробах ДТ (ОБР-1, 2, 3) процент отогнанного продукта одинаков, а в образцах с длительным временем хранения и неизвестной предысторией (ТОП-1, 2) эти значения не только отличаются от указанных ранее данных, но и различны по величине.

Таблица 1

Физико-химические показатели проб дизельного топлива, керосина, смесей керосина с топливом

Объект исследования	* $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> , при 15°C	** $\nu$ , мм <sup>2</sup> /с при 20°C	*** $\nu$ , мм <sup>2</sup> /с при 40°C	****К
ОБР-1	835,6	4,49±0,02	2,94±0,05	2,80
ОБР-2	831,7	4,43±0,01	2,93±0,01	2,80
ОБР-3	834,6	4,64±0,07	3,13±0,10	2,80
ТОП-1	825,7	3,12±0,01	2,25±0,01	13,40
ТОП-3	834,6	4,65±0,02	3,07±0,03	19,6
ТОП-2	838,6	4,68±0,02	3,07±0,06	5,6
КЕР	794,9	1,47±0,02	–	0,56
СМ-1	814,8	3,20±0,01	2,13±0,02	2,8
СМ-2	827,7	–	–	–

\* плотность при 15 °С по нормам ГОСТ 32511-2013 и ГОСТ 305-2013 (EN 590:2009) составляет 820,0–845,0 кг/м<sup>3</sup> и 863,4 кг/м<sup>3</sup> (Л), 843,4 кг/м<sup>3</sup> (З) соответственно;

\*\* вязкость при 20 °С по нормам ГОСТ 32511-2013 составляет 3,0–6,0 мм<sup>2</sup>/с (Л) и 1,8–5,0 (З) мм<sup>2</sup>/с;

\*\*\* вязкость при 40 °С по нормам ГОСТ 305-2013 составляет 2,000–4,500 мм<sup>2</sup>/с;

\*\*\*\* кислотность, мг КОН на 100  $\text{см}^3$  топлива, не более 5 (ГОСТ 305-2013).

не. Следовательно, длительность хранения топлива, отражаясь в значениях кислотности, не проявляется во фракционном составе горючего.

Из сопоставления представленных данных (табл. 3) следует, что цетановые числа ( $ЦЧ_{\text{экс}} = 47,3-48,3$ ; среднее значение  $47,7$  (~48)) образцов дизельного топлива, при заявленной производителем индикатора ОКТАН-ИМ абсолютной погрешности  $\pm 2$ , не превышая значение 51, и больше 45 цетановых единиц. Цетановое число по требованиям мировой топливной хартии (стандарт ISO 5156) к качеству дизельного топлива для категории качества 1 составляет  $\geq 48$  [3]. Среднее значение  $ЦЧ_{\text{экс}} 47,7$  (~48) идентично регламентируемой величине цетанового числа указанного международного стандарта. Определение ЦЧ ОКТАН-ИМ так же, как и октанового числа бензина, основано на измерении диэлектрической проницаемости

( $\epsilon$ ) компонентов топлива [8]. Поэтому измеренное значение ЦЧ может отличаться от величин ЦЧ, определяемых экспериментально на испытательной аппаратуре.

Нормативное значение цетанового индекса (информационное значение цетанового числа) составляет 46 единиц [2]. Расчет согласно стандарту проводят по двум уравнениям с четырьмя переменными. Существует уравнение, по которому цетановый индекс (ЦИ) вычисляют, используя плотность топлива и температуру кипения 50 %-ной (по объему) фракции [9, 10]. В области цетановых чисел от 30 до 60 для дистилляторных дизельных топлив расчетный ЦИ совпадает (с 75 %-ной доверительной вероятностью) с ЦЧ, определенным экспериментально на испытательной аппаратуре, с расхождением в пределах  $\pm 2$  цетановые единицы [10].

Таблица 2

Фракционный состав дизельного топлива и смесей топлива с керосином

Температура разгонки, °С (ГОСТ 32511-2013, ГОСТ 305-2013)	*Процент отогнанного продукта, % (об.)							
	ГОСТ 32511-2013, ГОСТ 305-2013	ОБР-1	ОБР-2	ОБР-3	ТОП-1	ТОП-2	СМ-1	СМ-2
180	$\leq 10$	<5	<5	<5	5	$\leq 10$	16	4
не выше 280	50	50	50	50	67	54	68	59
250	< 65	28	28	28	51	26	52	38
350	>85	92	92	92	93	94	94	94
не выше 360	95	95	95	95	98	97	97	96

\* процент отогнанного продукта – объем конденсата в приемном цилиндре на любой стадии разгонки, выраженный как процент от объема образца при конкретном значении температуры [6].

Таблица 3

Цетановые числа дизельных топлив, плотность образцов при 20 °С и суммарное количество ненасыщенных и ароматических углеводородов ( $C_{\text{серн}}$ )

Объект исследования	$ЦЧ_{\text{экс}}$	$ЦЧ_{\text{норм}}$ ГОСТ 32511-2013	$ЦЧ_{\text{норм}}$ ГОСТ 305-2013	* $C_{\text{серн}}$ , % масс.	$\rho$ , г/см <sup>3</sup> , при 20°С
ОБР-1	47,7	51,0	45	4,6	0,832
ОБР-2	47,8			3,7	0,828
ОБР-3	47,5			3,6	0,831
ТОП-1	47,3			---	0,822
ТОП-2	47,3			10,7	0,835
ТОП-3	48,3			9,9	0,831

\* массовая доля полициклических ароматических углеводородов, % не более 8 (ГОСТ 32511-2013); йодное число, г йода на 100 г топлива, не более 6 (ГОСТ 305-2013); общее содержание ароматических углеводородов, % масс для категории качества 2 –  $\leq 25$ , для категории качества 3, 4 –  $\leq 15$  (Требования Мировой топливной хартии к качеству дизельных топлив) [3]; содержание полициклических ароматических углеводородов (би- и трициклических), % масс для категории качества 2 –  $\leq 5$ , для категории качества 3, 4 –  $\leq 2$  (Требования Мировой топливной хартии к качеству дизельных топлив) [3].

Число эмпирических уравнений для расчета ЦЧ и ЦИ, приводимых в литературных источниках, весьма обширно [3, 11–15]. Однако, как это отмечено в указанных сведениях, для топлив с присадками, повышающими цетановое число, расчетные формулы не пригодны. Несмотря на такое предостережение, связанное с корректностью результатов опытов и с выводами, были проведены расчеты ЦЧ. Необходимость этого расчета диктовалась малым разбросом ( $\pm 0,2$  %) значений  $ЦЧ_{экс}$ . Для подбора эмпирического уравнения использовали методы математической статистики, программное обеспечение *Microsoft Office Excel* и *STATISTICA* [16, 17]. Проводили корреляционно-регрессионный анализ связи плотности с вязкостью, плотности с температурой кипения 50 %-ной (по объему) фракции. Корреляционно-регрессионный анализ связи плотности (параметр  $x$ ) с температурой кипения 50 %-ной (по объему) фракции (параметр  $y$ ) показал, что коэффициент корреляции ( $r$ ) составил 0,796, а коэффициент детерминации  $r^2 = 0,634$ . Однако расчетное значение критерия Фишера не превосходит критическую величину, т.е. уравнение регрессии статистически не значимое, ненадежное. В отличие от уравнения регрессии связи  $\rho$  с температурой кипения 50 %-ной (по объему) фракции аналогичное уравнение зависимости вязкости (параметр  $y$ ) от плотности (параметр  $x$ ) топлив, статистически значимое, надежное. Коэффициент корреляции существенно отличен от нуля. Средняя ошибка аппроксимации, равная 2 %, свидетельствует о хорошем качестве уравнения регрессии. Тесная связь параметров  $\rho$  и  $\nu$  позволяет провести расчет ЦЧ по уравнению Т.С. Чуршукова [12]:

$$ЦЧ = (\nu + 17.8) + \frac{15879}{\rho}, \quad (2)$$

где  $\nu$  – вязкость при 20 °С, мм<sup>2</sup>/с;  $\rho$  – плотность при 20 °С, г/см<sup>3</sup>.

Рассчитанное по уравнению (2) минимальное значение ЦЧ, составило 40,4, максимальное – 42,9 цетановых единиц, т.е. эти значения отличаются друг от друга на ~6 %. Следовательно, представленные в таблице 3 экстремальные значения цетановых чисел, должны отличаться не на ~2 %, а как минимум на ~6 %.

Из сравнения данных суммарного содержания ненасыщенных и ароматических углеводородов (табл. 3) следует, что параметр  $C_{серн}$

ниже значений общего содержания ароматических углеводородов, представленных в сноске. Параметр  $C_{серн}$  в пробах ТОП-2, ТОП-3 (10,7 %, 9,9 %) выше суммарного содержания ненасыщенных и ароматических углеводородов в топливах ОБР-1, 2, 3 (усредненное значение ~4 %) в ~3 раза. Следовательно, образцы с длительным сроком хранения, приобретенные ранее, чем ОБР-1, 2, 3, содержат больше аренов.

Присутствие в топливах ненасыщенных углеводородов определяли, используя водный раствор  $KMnO_4$ . Замечено, что после введения в пробы топлива  $KMnO_4$  хлопья  $MnO_2$  появляются в разных образцах за разные промежутки времени. Так, например, в ОБР-1, ТОП-1, 3 диоксид марганца образуется в течение небольшого промежутка времени, а в ОБР-3 хлопья появляются после двух суток хранения пробы. Целесообразно предположить, что временная зависимость образования  $MnO_2$  при окислении ненасыщенных углеводородов перманганатом калия связана с их концентрацией в топливе. Чем меньше время, тем больше в пробе алкенов. Таким образом, в ОБР-1 содержание ненасыщенных углеводородов должно превосходить их концентрацию в ОБР-2 и ОБР-3. Эта закономерность проявляется в значениях  $C_{серн}$ , представленных в табл. 3. В топливе ОБР-1 параметр  $C_{серн}$  выше на ~20 % значений  $C_{серн}$  в ОБР-2 и ОБР-3. Следовательно, в топливах, выпускаемых разными производителями, соотношение ненасыщенных и ароматических углеводородов может быть различным.

Для улучшения низкотемпературных свойств дизельного топлива иногда его разбавляют керосином [18]. Поэтому и были изучены смеси дизельного топлива с керосином.

Из сравнения данных, представленных в табл. 1, с нормами ГОСТа и параметрами дизельных топлив следует, что плотность смеси, содержащей 30 % керосина, не только ниже нормы, но и ниже  $\rho$  топлив. Отличия свойств СМ-1 от свойств топлив проявляется и во фракционном составе. При температуре 180 °С перегоняется 16 % вместо нормативных 10 % (табл. 2). Плотность, вязкость и другие показатели смеси, содержащей 10 % керосина, идентичны нормируемым значениям на дизельное топливо. В качестве примера в табл. 2 приведены данные фракционного состава, которые соответствуют представленным в ГОСТе нормам.

## Выводы

Из результатов опытов и их обсуждения следует, что плотность, вязкость, фракционный состав дизельных топлив соответствуют представленным в ГОСТе нормам. Кислотность проб с длительным временем хранения и неизвестной предысторией больше значения показателя ГОСТа. Среднее значение цетанового числа дизельных топлив, измеренное индикатором ЦЧ ОКТАН-ИМ и отличающееся от требуемых регламентом параметров, идентично значению, представленному в Стандарте Мировой топливной хартии (стандарт ISO 5156). Во всех без исключения топливах присутствуют ненасыщенные и ароматические углеводороды. Показано, что в горючем, выпускаемом разными производителями, соотношение ненасыщенных и ароматических углеводородов может быть различным. Плотность, вязкость и другие показатели смеси, содержащей 10 % керосина, идентичны нормируемым значениям на дизельное топливо. Плотность смеси, содержащей 30 % керосина, не только ниже нормы, но и ниже измеренных значений плотности дизельных топлив.

## Литература

1. ГОСТ 305-2013 Топливо дизельное. Технические условия. М.: Стандартинформ. 2014. 15 с.
2. ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Топливо дизельное Евро. Технические условия. М.: Стандартинформ. 2014. 19 с.
3. Магарил Е.Р., Магарил Р.З. Моторные топлива. М.: КДУ. 2015. 160 с.
4. Кириченко Н.Б. Автомобильные эксплуатационные материалы. М.: Издательский центр «Академия». 2014. 208 с.
5. Горючие, смазочные материалы: Энциклопедический толковый словарь-справочник / Под ред. В.М. Школьниковой. М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» Международной Академии Информатизации». 2007. 736 с.
6. ГОСТ ISO 3405-2013 Нефтепродукты. Определение фракционного состава при атмосферном давлении. М.: Стандартинформ. 2014. 54 с.
7. Цанаксидис Ц.Г. Снижение кислотности биодизеля и его смесей с нефтяным дизельным топливом с помощью биоразлагаемого полимера // Химия и технология топлива и масел. 2012. № 1(569). С. 31–35.
8. Скворцов Б.В., Силов Е.А. Исследование корреляционных зависимостей между октановым числом и электродинамическими параметрами

углеводородных продуктов // Известия Самарского центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 5. С. 64–71.

9. Цанаксидис Ц.Г. Регулирование физико-химических характеристик дизельного топлива введением биоорганических соединений // Химия и технология топлива и масел. 2011. № 3(565). С. 32–34.
10. ГОСТ 27768-88 (СТ СЭВ 5871-87) Топливо дизельное. Определение цетанового индекса расчетным методом. М.: Издательство стандартов. 1988. 7 с.
11. Гусев А.А., Фукс И.Г., Лашхи В.Л. Химмотология. М.: Химия. 1986. 368 с.
12. Справочник. Нефтепродукты: свойства, качество, применение. Под ред. Б.В. Лосикова. М.: Химия. 1966. 776 с.
13. Александров И.А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке. М.: Химия. 1981. 352 с.
14. Пучков Н.Г. Дизельные топлива. Л.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы. 1953. 194 с.
15. Патрахальцев Н.Н., Шкаликова В.П. Топлива, рабочие тела и их свойства. Задачи и решения. М.: Изд-во РУДН. 2002. 67 с.
16. Ляховецкий А.М., Кремянская Е.В., Климова Н.В. Статистика / Под ред. В.И. Нечаева. М.: КНОРУС. 2016. 362 с.
17. Болдин А.П., Максимов В.А. Основы научных исследований. М.: Издательский центр «Академия». 2012. 336 с.
18. Халикова Д.А., Меньшикова Т.С. Сравнение ключевых показателей дизельных топлив зарубежного и отечественного производств // Вестник казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 9. С. 226–227.

## References

1. *GOST 305-2013 Fuel diesel. Specifications.* Moscow: Standartinform Publ. 2014. 15 p.
2. *GOST 32511-2013 (EN 590:2009) Fuel diesel Euro. Specifications.* Moscow: Standartinform Publ. 2014. 19 p.
3. Magaril E.R., Magaril R.Z. *Motornye topliva* [Motor fuels]. Moscow: KDU Publ. 2015. 160 p.
4. Kirichenko N.B. *Avtomobil'nye ekspluatatsionnye materialy* [Automotive operational materials]. Moscow: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya» Publ. 2014. 208 p.
5. *Goryuchie, smazochnye materialy: Entsiklopedicheskij tolkovyy slovar'-spravochnik* [Combustible, lubricating materials: Encyclopaedic explanatory dictionary-reference]. Pod red. V.M. Shkol'nikova.

- Moscow: ООО «Izdatel'skiy tsentr «Tekhinform» Mezhdunarodnoy Akademii Informatizatsii» Publ. 2007. 736 p.
6. GOST ISO 3405-2013 Petroleum products. Determination of the fractional composition at atmospheric pressure.. Moscow: Standartinform Publ. 2014. 54 p.
  7. Tsanaksidis Ts.G. Reducing the acidity of biodiesel and its mixtures with petroleum diesel fuel using a biodegradable polymer. *Khimiya i tekhnologiya topliva i masel*. 2012. No 1(569), pp. 31–35 (in Russ.).
  8. Skvortsov B.V., Silov E.A. Investigation of correlation dependencies between the octane number and the electrodynamic parameters of hydrocarbon products. *Izvestiya Samarskogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2009. T. 11. No 5, pp. 64–71 (in Russ.).
  9. Tsanaksidis Ts.G. Regulation of physico-chemical characteristics of diesel fuel by the introduction of organic compounds. *Khimiya i tekhnologiya topliva i masel*. 2011. No 3(565), pp. 32–34 (in Russ.).
  10. GOST 27768-88 (ST SEV 5871-87) Fuel diesel. The determination of the cetane index by the calculation method. Moscow: Izdatel'stvo standartov Publ. 1988. 7 p.
  11. Gusev A.A., Fuks I.G., Lashkhi V.L. *Khimotologiya* [Chemmotology]. Moscow: Khimiya Publ. 1986. 368 p.
  12. *Spravochnik. Nefteprodukty: svoystva, kachestvo, primenenie* [Handbook. Petroleum products: properties, quality, application]. Pod red. B.V. Losikova. Moscow: Khimiya Publ. 1966. 776 p.
  13. Aleksandrov I.A. *Peregonka i rektifikatsiya v neftepererabotke* [Distillation and rectification in oil refining]. Moscow: Khimiya. 1981. 352 p.
  14. Puchkov N.G. *Dizel'nye topliva* [Diesel fuel]. Leningrad: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo neftyanoy i gornotoplivnoy literatury Publ. 1953. 194 p.
  15. Patrakhal'tsev N.N., Shkalikova V.P. *Topliva, rabochie tela i ikh svoystva. Zadachi i resheniya* [Fuels, working bodies and their properties. Tasks and solutions.]. Moscow: Izd-vo RUDN Publ. 2002. 67 p.
  16. Lyakhovetskiy A.M., Kremyanskaya E.V., Klimova N.V. *Statistika* [Statistics]. Pod red. V.I. Nechaeva. Moscow: KNORUS Publ. 2016. 362 p.
  17. Boldin A.P., Maksimov V.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy* [Fundamentals of scientific research]. Moscow: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya» Publ. 2012. 336 p.
  18. Khalikova D.A., Men'shikova T.S. Comparison of key indicators of diesel fuels of foreign and domestic productions. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012. T. 15. No 9, pp. 226–227 (in Russ.).

## PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF EURO STANDARD DIESEL FUEL

A.A. Khodiakov<sup>1</sup>, Ph.D. S.V. Khlopkov<sup>1</sup>, Ph.D. V.V. Bernatskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, vladislav\_bern@mail.ru

*It is known that the quality of diesel fuel is characterized by both performance indicators and environmental properties of fuel. At the same time, the introduction of modern norms and standards that are associated with the modification of the component composition of fuel sets the task of controlling the physicochemical properties of diesel fuels. To solve the task, fuel samples, purchased from different fuel producers, and diesel fuel samples with an unknown prehistory, stored for a long time in the laboratory, were investigated. Mixtures of fuel with kerosene were also investigated. Diluted kerosene fuel, when it is used, reduces not only the power, but also the engine life. The density of the objects of the study was measured with oil meters. The viscosity and fractional composition of the fuels were determined using the VPZh-4 viscosimeter and the ARNS-1E oil distillation apparatus, respectively. Cetane numbers were measured by the OCTAN-IM indicator. As a result of the carried out researches it is established that the density, viscosity, fractional composition of diesel fuels correspond to those presented in the GOST standards. The acidity of samples with a long storage time and an unknown prehistory is greater than the GOST indicator value. The average value of the cetane number of diesel fuels measured by the OCTAN-IM indicator and different from the parameters required by the regulations is identical to the value given in the world fuel charter standard (ISO 5156). In all, without exception, fuels are present unsaturated and aromatic hydrocarbons. It is shown that in the fuel produced by different manufacturers, the ratio of unsaturated and aromatic hydrocarbons can be different. The density, viscosity and other characteristics of the mixture containing 10 % kerosene are identical to the normalized values for diesel fuel. The density of the mixture containing 30 % kerosene is not only below the norm, but also below the measured values of the density of diesel fuels.*

**Keywords:** diesel fuel; density; viscosity; fractional composition; acidity; cetane number; cetane index; aromatic hydrocarbons; unsaturated hydrocarbons.