

# РАЗРАБОТКА МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СМЕСЕВОГО БИО-УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ

Салим Соо, к.т.н. Абдель Сатер Х.И., к.х.н. Ходяков А.А., Хлопков С.В.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

khlopkov\_sv@rudn.university

Определены плотность, вязкость, цетановые числа смесей дизельного топлива (ДТ) с арахисовым маслом (АМ). Для приготовления смесей были использованы дизельное топливо летнего вида, нерафинированное арахисовое масло (ТУ 9141-001-0062499777-2016), керосин (КО-25 ТУ 38.401-58-10-01). Критериями применимости арахисового масла в качестве компонента горючего были значения плотности ( $\rho$ ), вязкости ( $\nu$ ), цетановые числа (ЦЧ) дизельного топлива. Установлено, что  $\rho$ ,  $\nu$ , ЦЧ смесей с содержанием арахисового масла не более 20 % идентичны параметрам  $\rho$ ,  $\nu$ , ЦЧ дизельного топлива. Проведена оценка энергии активации вязкого течения ( $E_a$ ) смесей и арахисового масла. Показано, что параметр  $E_a$  намного ниже энергии активации протекающего при нагревании АМ окислительного процесса. Сделан вывод, что на измерение вязкости (в интервале температур от 20 до 100 °С) окислительные процессы не оказывают влияния. Цетановые числа объектов исследования были измерены индикатором ЦЧ ОКТАН-ИМ. Показано, что цетановые числа смесей, содержащих более 50 % АМ, ниже минимального значения, необходимого для нормальной работы двигателя при его питании дизельным топливом. Изложен перечень недостатков смесевое дизельного топлива, а также представлен способ компенсации этих недостатков, заключающейся во введении в указанную смесь керосина. Показано, что многокомпонентная смесь, удовлетворяющая требованию, предъявляемому к значениям  $\rho$ ,  $\nu$ , ЦЧ дизельного топлива, должна содержать 33 % керосина, 29 % ДТ и 38 % арахисового масла. Отмечено, что для окончательного вывода о применимости указанной смеси требуется проведение натуральных испытаний.

**Ключевые слова:** смесевое дизельное топливо, арахисовое масло, цетановое число, вязкость, плотность, керосин.

## Введение

Введение стандарта на термины и определения в области биотехнологических методов преобразования энергии биомассы связано с провидимыми учеными и инженерами исследованиями, направленными на решение задач обеспечения экономии горючего и замены жидкого углеводородного нефтяного топлива на топливо не минерального происхождения [1–6]. Согласно ГОСТу дизельное топливо, изготавливаемое путем смешения дизельного и биодизельного топлива или дизельного топлива и растительных масел, получило название дизельного смесевое топлива [1].

Применение дизельного смесевое топлива обеспечивает не только экономию жидкого углеводородного нефтяного топлива, но и улучшает экологические качества горючего [2–6]. Обладая позитивными свойствами, смесевое топливо имеет и недостатки, к которым относятся, например, потеря мощности двигателя, повышенный расход горючего [3–5]. Эти

недостатки обусловлены несоответствием физико-химических свойств растительных масел требованиям организации рабочего процесса в двигателе [6]. Поэтому **цель исследования**, посвященная изучению физико-химических свойств смесей дизельного топлива с растительными маслами, а также поиск оптимального соотношения указанных компонентов (обеспечивающего устранение недостатков смесей) не потеряла своей актуальности.

## Экспериментальная часть

Объектами исследования были пробы дизельного топлива (ДТ) летнего вида, пробы нерафинированного арахисового масла (АМ). Содержание арахисового масла (получено ручным холодным отжимом на дубовом прессе) в приготовленных смесях варьировали от 0 до 100 %. В состав АМ входят насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты [2].

Определение физических характеристик проб указанных ранее объектов исследования

проводили по стандартным методикам. Так, кинематическую вязкость  $\nu$  измеряли с помощью капиллярного стеклянного вискозиметра ВПЖ-4 и ВПЖ-2, плотность  $\rho$  – ареометром (нефтеденсиметром).

Расчет вязкости ( $\nu$ , сСт) проводили по уравнению:

$$\nu = C \cdot \tau,$$

где  $C$  – постоянная вискозиметра, сСт·с<sup>-1</sup>;  $\tau$  – среднесарифметическое время истечения проб топлива, масла и смесей дизельного топлива с арахисовым маслом, сек.

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  $\pm 2$  цетановых единицы (ц.е.). Измерения ЦЧ проводили, используя как заводскую калибровку, так и градуировку с применением масел, применяемых для составления компаундов.

### Обсуждение результатов

Из сопоставления данных (табл. 1) следует, что показатели плотности и вязкости арахисового масла намного выше этих показателей для дизельного топлива. Даже при 100 °С вяз-

кость АМ превосходит значение вязкости дизельного топлива в  $\sim 5$  раз. Следует отметить, что приведенные в табл. 1 значения плотности и вязкости арахисового масла близки к величинам, представленным в литературе. Так,  $\rho$  АМ (по литературным сведениям) составляет 917 кг·м<sup>-3</sup>, вязкость – 81,5, 36,5, 8,3 мм<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup> для температур 20, 40 и 100 °С соответственно [2]. Значения плотности и вязкости дизельного топлива идентичны нормируемым параметрам  $\rho$  и  $\nu$  (см. сноски, табл. 1).

Присутствующее в дизельном топливе арахисовое масло в концентрациях от 5 до 20 % оказывает, в отличие от смесей с более высоким содержанием АМ, менее сильное воздействие на вязкость компаунда (табл. 2). Параметр  $\nu$  смесей (при 20 и 40 °С), содержащих 5–10 % АМ, соответствует требованиям, предъявляемым к дизельному топливу (см. сноски, табл. 1). Следовательно, указанные компаунды могут без каких-либо ограничений использоваться в качестве топлива в дизелях. Подтверждает данный вывод параметр  $\rho$ . Плотность этих смесей должна надежно попадать в регламент на  $\rho$  дизельного топлива, т.к. измеренные значения плотности, превосходящие нормируемую величину (863,4 кг·м<sup>-3</sup>), наблюдаются для концентраций АМ выше 40 % (табл. 2).

Таблица 1

Физико-химические показатели проб дизельного топлива и арахисового масла

Объект исследования	* $\rho$ , кг·м <sup>-3</sup> при 15 °С	$\rho$ , кг·м <sup>-3</sup> при 20 °С	** $\nu$ , мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup> при 20 °С	*** $\nu$ , мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup> при 40 °С	$\nu$ , мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup> при 100 °С	****К
ДТ	830,0	828,0	5,1	3,2	1,6	2,80
АМ	918,0	915,0	77,2	36,1	8,4	1–2,25

\* плотность при 15 °С для дизельного топлива 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 для дизельного топлива по нормам ГОСТ 32511-2013 составляет 3,0–6,0 мм<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup> (Л) и 1,8–5,0 (З) мм<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;

\*\*\* вязкость при 40 °С для дизельного топлива по нормам ГОСТ 305-2013 составляет 2,0–4,5 мм<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;

\*\*\*\* кислотность, мг КОН на 100 см<sup>3</sup>, не более 5 (ГОСТ 305-2013) для дизельного топлива и кислотное число в мг КОН на г, не более 1–2,25 для арахисового масла первого и высшего сорта (ГОСТ 7981-68).

Таблица 2

Физико-химические показатели смесей дизельного топлива с арахисовым маслом

Параметр	Содержание АМ в смеси, %											
	5	10	15	20	25	30	40	45	50	60	70	75
$\rho$ , кг·м <sup>-3</sup> при 20 °С	–	–	–	–	841	847	858	870	878	887	898	909
$\nu$ , мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup> при 20 °С	5,9	6,1	6,8	8,5	10,3	13,2	–	–	19,2	–	34,9	–
$\nu$ , мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup> при 40 °С	3,7	3,9	4,3	5,2	5,9	7,8	–	–	10,6	–	17,7	–
$\nu$ , мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup> при 100 °С	1,7	1,8	1,9	2,0	2,4	2,5	–	–	3,5	–	5,2	–

Энергию активации вязкого течения ( $E_a$ ) определяли, используя методы математической статистики, программное обеспечение *Microsoft Office Excel* (Пакет анализа – Анализ данных – Регрессия) и *STATISTICA* [7, 8]. Зависимость вязкости установившегося процесса течения  $\nu$  от температуры описывается уравнением Френкеля-Андрэ [9, 10]:

$$\nu = A \exp(E_a / RT),$$

где  $A$  – постоянная;  $E_a$  – энергия активации;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура.

Для определения  $E_a$  использовали значения вязкости, измеренные при температурах 20, 40, 70 и 100 °С. Анализировали зависимость:

$$y = a + bx,$$

где  $y$  – логарифм вязкости  $\ln \nu$ ;  $a$  – свободный член,  $b$  – коэффициент регрессии, равный отношению  $E_a$  к  $R$ ;  $x$  – обратная абсолютная температура  $1/T$ .

Параметр  $E_a$  арахисового масла выше энергии активации вязкого течения дизельного топлива (табл. 3). Аналогичная закономерность наблюдается и в смесях, содержащих АМ. Следовательно, арахисовое масло повышает потенциальный барьер, который должны преодолеть молекулы смеси для перехода из одного слоя в другой слой жидкости. Параметр  $E_a$  для смесей с 5–10 %-ным содержанием АМ отличается от значения  $E_a$  топлива всего на ~ 4 %. Резкое возрастание энергии активации характерно для смесей, содержащих более 20 % АМ. Компаунд, в котором присутствует 15 % АМ, можно так же, как смеси с более низкой концентрацией масла, использовать непосредственно в качестве топлива в дизелях. На такой вывод указывает разница в энергиях активации ДТ и смеси, которая не превышает ~ 10 %.

Известно, что при воздействии температуры растительные масла подвергаются окислению и полимеризации [11, 12]. Величина энергии активации, свидетельствующая о протекании окислительного процесса арахисового

масла, равна  $\Delta H = 50$  кДж·моль<sup>-1</sup> [11]. Потенциальный барьер, преодолеваемый молекулами АМ, при переходе из одного слоя в другой слой жидкости составляет 25,3 кДж·моль<sup>-1</sup> (табл. 3). Такое отличие  $\Delta H$  и  $E_a$  свидетельствует, что на измерение вязкости (в интервале температур от 20 до 100 °С) окислительные процессы не оказывают влияния. Подтверждением этого вывода являются данные старения арахисового масла. Заметное окисление АМ наблюдается при воздействии тепла (62 °С) в течение нескольких часов [11].

Определение индикатором ОКТАН-ИМ цетанового числа основано на измерении комплексной диэлектрической проницаемости дизельного топлива ( $\epsilon_{\text{комп}}$ ) [13]. Этот метод (диэлькометрия) относится к косвенному однофакторному способу определения ЦЧ. Математическая модель, описывающая связь  $\epsilon_{\text{комп}}$  с цетановым числом, нелинейная [13]:

$$\epsilon_{\text{комп}} = 3,196 - 0,06 \cdot (\text{ЦЧ}) + 1,389 \cdot 10^{-3} \times (\text{ЦЧ})^2 - 1,097 \cdot 10^{-5} \cdot (\text{ЦЧ})^3. \quad (1)$$

Формула (1) справедлива в диапазоне значений  $\epsilon_{\text{комп}}$  от 2,303 до 2,327 и ЦЧ от 37 до 53 ц.е. Диэлектрическая проницаемость АМ равна 3,0–3,2, цетановое число – 37 [2]. Параметр  $\epsilon_{\text{комп}}$  АМ, при равенстве значений ЦЧ масла и дизельного топлива, превосходит диэлектрическую проницаемость топлива на 23–28 %. Такое отличие  $\epsilon_{\text{комп}}$  арахисового масла от диэлектрической проницаемости ДТ с цетановым числом 37 ц.е. указывает, что данные для смесей ДС с АМ могут отличаться от величин ЦЧ, характерных для дизельных топлив. Эти значения, согласно установленной закономерности для ДТ, в смесях, содержащих АМ, должны быть ниже параметра ЦЧ дизельного топлива. Однако цетановые числа смесей (измеренные по значениям калибровки, проведенной производителем ОКТАН-ИМ) с возрастанием доли в компаунде АМ не падают, а наоборот растут. Поэтому оценку цетановых чисел смесей проводили, используя зависимость ЦЧ арахисового, рапсового (РМ) масел и

Таблица 3

Энергия активации вязкого течения дизельного топлива, арахисового масла и смесей ДТ с АМ

Параметр	Содержание АМ в смеси, %							
	0 (ДТ)	5	10	15	20	25	50	100 (АМ)
$E_a$ , кДж·моль <sup>-1</sup>	13,3	13,9	13,9	14,4	15,7	16,7	19,3	25,3

дизельного топлива от псевдоцетанового числа (ПЦЧ). Псевдоцетановое число (руководство по эксплуатации октанометра ОКТАН-ИМ) – это значение диэлектрической проницаемости масел и топлива, приведенное к диапазону 45,61–56,30 ц.е. Для градуировки использовали цетановые числа АМ, РМ и ДТ, равные соответственно 37, 36, 47,5 ц.е. Зависимость ЦЧ от измеренных параметров ПЦЧ представляла собой, в отличие от (1), прямую линию.

В табл. 4 представлены значения ЦТ смесей АМ с ДТ. Компаунды, содержащие 50–90 % АМ, по величине ЦЧ не попадают в интервал (45–55 ц.е.) значений, закрепленных в ГОСТах на дизельное топливо [14–17]. Цетановое число СМ-50, равное 43,1, выше минимального значения (40 ц.е.), необходимого для нормальной работы двигателя при его питании дизельным топливом [17]. Силовой агрегат работает на ДТ с ЦЧ ниже 40 ц.е. с перебоями, возрастает износ мотора. Следовательно, смеси с высоким содержанием АМ (больше 50 %), по аналогии с дизельным топливом не могут быть использованы в качестве горючего. Следует отметить, что цетановые числа смесей с увеличением в компаунде АМ, имеющего более низкое значение ЦЧ, падают. Идентичная закономерность, но с обратным знаком, наблюдается в сурепно- и редечно-минеральных топливах [4]. В отличие от АМ, сурепное и редечное масло обладают более высоким, чем ДТ, значением ЦЧ. Поэтому цетановые числа смесей с увеличением содержания в них масел растут.

Мощностные, топливо-экономические и экологические показатели двигателей, работающих на растительном масле, смесях ДТ и масел, определяют, проводя моторные исследования дизелей, которыми оснащают тракторы, строительные машины и специальную технику [3, 4, 12, 20, 21]. Эксперименты проводят также и на одноцилиндровом дизельном двигателе [12, 22].

Из анализа показателей, представленных в литературных источниках, следует, что смесевое ДТ, растительное масло улучшают экологические качества горючего. Мощность

дизеля, работающего на смеси или на масле, ниже мощности мотора, питаемого дизельным топливом. Расход горючего выше расхода, регистрируемого при работе двигателя на дизельном топливе. К этому перечню негативных явлений (потеря мощности, увеличение расхода горючего) можно отнести образование, при работе двигателя на рапсовом масле (РМ) и смесях, содержащих более 25 % РМ, отложений на клапанах, поршне и коксование форсунок [12, 21].

Для организации рабочего процесса в дизеле, работающем на смесях, используют дополнительное оборудование – нагреватели, смеситель, емкость с растительным маслом [2, 4, 12].

Представленные негативные явления, применение дополнительного оборудования усложняют не только проведение моторных испытаний, но и указывают на необходимость осторожного отношения к использованию в качестве горючего растительных масел и смесевое дизельного топлива, содержащего более 20 % растительного масла. Компенсировать недостатки смесевое дизельного топлива можно посредством введения в него третьего компонента. В качестве такого компонента целесообразно использовать керосин (КЕР; КО-25 ТУ 38.401-58-10-01), служащий средством, позволяющим улучшить низкотемпературные свойства дизельного топлива [18]. В состав смеси (СМК), которая удовлетворяла требованию, предъявляемому к вязкости, входили 33 % КЕР, 29 % ДТ и 38 % арахисового масла. Максимальное значение вязкости, обеспечивающей качественное распыливание и хорошую прокачиваемость топлива, составляет (при температуре 20 °С) 9 мм<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup> [18]. Параметры  $\rho$ ,  $\nu$  и цетановое число СМК составили 845,0 кг·м<sup>-3</sup> (20 °С), 8,0 мм<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup> (20 °С), 44,6 ц.е. соответственно.

Арахисовое масло обладает высокой окислительной стабильностью (ОС). Так, окислительная стабильность АМ составляет 14,6 часов, ОС рапсового масла – 6,0 часов [22]. Это значит, что старение и связанные с ним

Таблица 4

Цетановые числа смесей (СМ) дизельного топлива с арахисовым маслом

Параметр	Содержание АМ, %					
	20	30	50	70	80	90
ЦЧ	46,0	45,3	43,1	38,1	37,6	37,0

процессы окисления и полимеризации в рапсовом масле и, следовательно, в смеси рапсового масла и дизельного топлива протекают с большей, чем для АМ скоростью.

Использование АМ в качестве горючего в виде многокомпонентной смеси наиболее актуально в африканских странах, где отсутствует двигателестроение.

### **Заключение**

Таким образом, взяв за критерии применимости арахисового масла (в качестве компонента горючего) значения плотности, вязкости, цетановые числа дизельного топлива можно констатировать, что наиболее перспективным следует считать питание дизельного двигателя смесями, содержащими не более 20 % АМ. При содержании в смеси АМ более 20 % по аналогии, например, с рапсовым маслом, необходимо повышать температуру смеси, поступающей в насос высокого давления. Недостатки смесового дизельного топлива можно компенсировать посредством введения в него керосина. Следует отметить, что для окончательного вывода о применимости указанных смесей требуется проведение натурных испытаний.

### **Литература**

- ГОСТ Р 52808-2007 Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2008. 10 с.
- Гусаков С.В. Перспективы применения в дизелях альтернативных топлив из возобновляемых источников: Учебное пособие. М.: РУДН, 2008. 318 с.
- Уханов А.П., Уханов Д.А., Шеменев Д.С. Дизельное смесевое топливо. Пенза: РИО ПГСХА, 2012. 147 с.
- Уханов А.П., Уханов Д.А., Сидоров Е.А., Година Е.Д. Нетрадиционные биокомпоненты смесового дизельного топлива. Пенза: РИО ПГСХА, 2013. 113 с.
- Абдель Сатер Х.И., Шевченко Д.В. Биоэнергетика автотранспорта // Вестник РУДН. Инженерные исследования. 2011. № 4. С. 52–60.
- Фомин В.М., Абу-Ниджим Р.Х. К проблеме эффективного использования биоуглеводородных топливных композиций в сфере энергетического комплекса АПК // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 10. С. 3–13.
- Ляховецкий А.М., Кремянская Е.В., Климова Н.В. Статистика: учебное пособие. Под ред. В. И. Нечаева. М.: КНОРУС, 2016. 362 с.
- Болдин А.П., Максимов В.А. Основы научных исследований: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 336 с.
- Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. Л.: Наука, 1975. 375 с.
- Бартенев Г.М. Определение энергии активации вязкого течения полимеров по экспериментальным данным // Высокомолекулярные соединения. 1964. Т. 6. № 2. С. 335–340.
- Елисева Л.Г., Михалева К.Ю., Самарина Ю.А., Крылова С.А., Лычников Д.С. Температурные изменения диэлектрических свойств арахисового масла // Известия Вузов. Пищевая технология. 2004. № 1. С. 40–41.
- Ulrich Spicher, Markus Lыft. Optimierung der Kraftstoffstrahlausbreitung für Pflanzenöl, insbesondere natürliches Rapsöl, bei der Verwendung moderner Diesel-Einspritzsysteme. Institut für Kolbenmaschinen der Universität Karlsruhe, 2007. 58 p.
- Скворцов Б.В., Силов Е.А., Солнцева А.В. Определение взаимосвязи показателей детонационной стойкости с электродинамическими параметрами углеводородных топлив на основе статистического моделирования компонентного состава // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2010. № 1 (21). С. 166–173.
- ГОСТ 305-2013 ТОПЛИВО ДИЗЕЛЬНОЕ. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.
- ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) ТОПЛИВО ДИЗЕЛЬНОЕ ЕВРО. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 19 с.
- Магарил Е.Р., Магарил Р.З. Моторные топлива: учебное пособие. 2-е изд. М.: КДУ, 2015. 160 с.
- Кириченко Н.Б. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. 9-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2014. 208 с.
- Бирюков В.П. Смазочные материалы, топлива и технические жидкости. Учебное пособие. М.: МИИТ, 2008. 183 с.
- 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.
- Марков В.А., Иващенко Н.А., Девянин С.Н., Нагорнов С.А. Сравнительный анализ показателей дизельного двигателя, работающего на смесях нефтяного дизельного топлива и растительных масел // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2012. С. 59–73.

21. Karl Maurer. Motorprüflauf mit Rapsöl-Diesel-Mischungen. Schlussbericht. Universität Hohenheim, 2003. 54 p.
22. Nils Clausen, Dirk Feyerabend, Jan Uwe Juergens, Markus Lendeckel, Simon Waterstradt. Untersuchung alternativer Kraftstoffe. Fachbereich Energie und Biotechnologie (FB2) der Fachhochschule Flensburg, 2014. 76 p.

### References

1. GOST R 52808-2007 *Netradicionnye tekhnologii. EHnergetika biootodov. Terminy i opredeleniya* [Unconventional technology. Energy of biowaste. Terms and definitions]. Moscow: Standartinform Publ., 2008. 10 p.
2. Gusakov S.V. *Perspektivy primeneniya v dizelyah al'ternativnykh topliv iz vozobnovlyаемых istochnikov* [Prospects for the use of alternative fuels from renewable sources in diesel engines]: Uchebnoe posobie. Moscow: RUDN Publ., 2008. 318 p.
3. Uhanov A.P., Uhanov D.A., SHemenov D.S. *Dizel'noe smesevoe toplivo* [Diesel blended fuel]. Penza: RIO PGSKHA Publ., 2012. 147 p.
4. Uhanov A.P., Uhanov D.A., Sidorov E.A., Godina E.D. *Netradicionnye biokomponenty smesevogo dizel'nogo topliva* [Nonconventional biocomponents of mixed diesel fuel]. Penza: RIO PGSKHA Publ., 2013. 113 p.
5. Abdel' Sater H.I., SHEvchenko D.V. Vehicle bioenergy. *Vestnik RUDN. Inzhenernye issledovaniya*. 2011. No 4, pp. 52–60.
6. Fomin V.M., Abu-Nidzhim R.H. The problem of the effective use of biocarbon fuel compositions in the energy sector of the agro-industrial complex. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2017. No 10, pp. 3–13.
7. Lyahoveckij A.M., Kremyanskaya E.V., Klimova N.V. *Statistika* [Statistics]: uchebnoe posobie. Pod red. V.I. Nechaeva. Moscow: KNORUS Publ., 2016. 362 p.
8. Boldin A.P., Maksimov V.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy: uchebnyk dlya stud. uchrezhdeniy vyssh. prof. obrazovaniya* [Fundamentals of research: a textbook for students of higher professional education institutions]. Moscow: Izdatel'skiy centr «Akademiya» Publ., 2012. 336 p.
9. Frenkel' YA.I. *Kineticheskaya teoriya zhidkostej* [Kinetic theory of liquids]. Leningrad: Nauka Publ., 1975. 375 p.
10. Bartenev G.M. Determination of the activation energy of viscous flow of polymers from experimental data. *Vysokomolekulyarnye soedineniya*. 1964. Vol. 6. No 2, pp. 335–340.
11. Eliseeva L.G., Mihaleva K.YU., Samarina YU.A., Krylova S.A., Lychnikov D.S. Temperature changes in the dielectric properties of peanut butter. *Izvestiya Vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*. 2004. No 1, pp. 40–41.
12. Ulrich Spicher, Markus Lбft. Optimierung der Kraftstoffstrahlausbreitung für Pflanzenöl, insbesondere natürliches Rapsöl, bei der Verwendung moderner Diesel-Einspritzsysteme. Institut für Kolbenmaschinen der Universität Karlsruhe, 2007. 58 s.
13. Skvorcov B.V., Silov E.A., Solnceva A.V. Determination of the relationship of the knock resistance indicators with the electrodynamic parameters of hydrocarbon fuels based on statistical modeling of the composition. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aehrokosmicheskogo universiteta*. 2010. No 1(21), pp. 166–173.
14. GOST 305-2013 *TOPLIVO DIZEL'NOE. Tekhnicheskie usloviya* [DIESEL FUEL. Technical conditions]. Moscow: Standartinform Publ., 2014. 15 p.
15. GOST 32511-2013 (EN 590:2009) *TOPLIVO DIZEL'NOE EVRO. Tekhnicheskie usloviya* [DIESEL FUEL. Technical conditions]. M.: Standartinform Publ., 2014. 19 p.
16. Magaril E. R., Magaril R. Z. *Motornye topliva* [Motor fuels]: uchebnoe posobie. 2-e izd. Moscow: KDU Publ., 2015. 160 p.
17. Kirichenko N.B. *Avtomobil'nye ehkspluatacionnye materialy* [Automotive maintenance materials]: uchebnyk dlya stud. uchrezhdeniy sred. prof. obrazovaniya. 9-e izd., ster. Moscow: Izdatel'skiy centr «Akademiya» Publ., 2014. 208 p.
18. Biryukov V.P. *Smazochnye materialy, topliva i tekhnicheskie zhidkosti* [Lubricants, fuels and technical liquids]. Uchebnoe posobie. Moscow: MIIT Publ., 2008. 183 p.
19. Halikova D.A., Men'shikova T.S. Comparison of key indicators of diesel fuels of foreign and domestic production. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012. Vol. 15. No 9, pp. 226–227.
20. Markov V.A., Ivashchenko N.A., Devyanin S.N., Nagornov S.A. Comparative analysis of the performance of a diesel engine operating on mixtures of petroleum diesel and vegetable oils. *Vestnik MGTU im. N. EH. Bauman. Ser. «Mashinostroenie»*. 2012, pp. 59–73.
21. Karl Maurer. Motorprüflauf mit Rapsöl-Diesel-Mischungen. Schlussbericht. Universität Hohenheim, 2003. 54 p.
22. Nils Clausen, Dirk Feyerabend, Jan Uwe Juergens, Markus Lendeckel, Simon Waterstradt. Untersuchung alternativer Kraftstoffe. Fachbereich Energie und Biotechnologie (FB2) der Fachhochschule Flensburg, 2014. 76 p.

## DEVELOPMENT OF MULTICOMPONENT MIXED BIO-HYDROCARBON FUEL FOR DIESEL ENGINES

Salim Soo, PhD in Engineering H.I. Abdel' Sater, PhD in Chemistry A.A. Hodyakov, S.V. Hlopkov  
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia  
khlopkov\_sv@rudn.university

*The density, viscosity, cetane number of mixtures of diesel fuel (DF) with peanut butter (PB) are determined. For the preparation of mixtures the summer-type diesel fuel, unrefined peanut oil (TU 9141-001-0062499777-2016), kerosene (KO-25 TU 38.401-58-10-01) were used. The criteria for the applicability of peanut oil as a component of fuel were density ( $\rho$ ), viscosity ( $\nu$ ), cetane number (CN) of diesel fuel. It is established that  $\rho$ ,  $\nu$ , CN of mixtures with a peanut butter content of not more than 20 % are identical to the parameters  $\rho$ ,  $\nu$ , CN of diesel fuel. The activation energy of the viscous flow ( $E_a$ ) of mixtures and peanut butter was estimated. It is shown that the parameter  $E_a$  is much lower than the activation energy of the oxidation process occurring when PB is heated. It was concluded that viscosity measurements (in the temperature range from 20 to 1000 °C) are not affected by oxidative processes. The cetane numbers of the objects of study were measured by the indicator CN OKTAN-IM. It is shown that the cetane numbers of mixtures containing more than 50 % PB are lower than the minimum value necessary for the normal operation of the engine when it is powered by diesel fuel. A list of the disadvantages of composite diesel fuel is presented, and a method is given to compensate these shortcomings, which consists in introducing kerosene into this mixture. It is shown that a multicomponent mixture satisfying the requirement for  $\rho$ ,  $\nu$ , CN values of diesel fuel should contain 33 % kerosene, 29 % diesel fuel and 38 % peanut butter. It is noted that for the final conclusion on the applicability of this mixture full-scale tests are required.*

**Keywords:** blended diesel fuel, peanut oil, cetane number, viscosity, density, kerosene.