

УДК 621.432.2

С.А. Плотников¹, П.Я. Кантор¹, И.С. Козлов¹, М.Н. Втюрина²**ИССЛЕДОВАНИЕ МОТОРНЫХ СВОЙСТВ СМЕСЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С РАПСОВЫМ МАСЛОМ**Вятский государственный университет, г. Киров¹,
Вятская государственная сельскохозяйственная академия, г. Киров²

Объектом исследования являются свойства смеси на основе дизельного топлива с добавкой биотоплива – рапсового масла и цетаноповышающей присадки DIFRON H372.

Задачей исследования явилось рассмотрение закономерностей изменения кинематической вязкости смесей дизельного топлива с рапсовым маслом и влияния на вязкость присадки, действующим веществом которой является 2-этилгексилнитрат.

Целью исследования явилось построение математической модели формирования вязкости смеси.

Методами настоящего исследования явились теоретический анализ и экспериментальная проверка.

Проведенные экспериментальные исследования и их теоретический анализ выявили возможность интерпретации и прогнозирования эффекта снижения кинематической вязкости смесевое топлива за счет добавления узкофункциональных присадок.

Ключевые слова: дизельное топливо, биотопливо, рапсовое масло, цетаноповышающая присадка, вязкость.

В связи с постепенным исчерпанием мировых запасов нефти все более насущной задачей становится переход на альтернативные и, в частности, возобновляемые источники тепловой энергии. При этом в последнее время первоочередная роль отводится топливам биологического происхождения [1, 2]. Несмотря на то, что использование рапсового масла (РМ) в качестве заменителя дизельного топлива (ДТ) насчитывает многолетнюю историю, проблема оптимизации состава топливных смесей, содержащих РМ, остается актуальной. Это связано, главным образом, с отрицательным влиянием повышенной вязкости РМ на моторные свойства смесевое топлива [3, 4].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании закономерностей изменения кинематической вязкости смесей дизельного топлива с рапсовым маслом и влияния на вязкость цетаноповышающей присадки DIFRON H372, действующим веществом которой является 2-этилгексилнитрат.



Рис. 1. Общий вид вискозиметра ВПЖ-1

Исследованные смеси содержали 10...50% масс. рапсового масла, 0,5...2,0% масс. искомой присадки и летнее дизельное топливо по ГОСТ 305-2013 – до 100% масс. Измерения проводились при температуре +20°C на капиллярном вискозиметре типа ВПЖ-1 (рис. 1). Результаты измерений отражены в табл. 1 и на рис. 2 (под символом c здесь понимается массовая концентрация рапсового масла в растворе при отсутствии присадки, c_D – концентрация присадки). Из представленных на рис. 2 результатов видна характерная для растворов высокомолекулярных соединений нелинейная зависимость вязкости от концентрации раствора.

Таблица 1

Зависимость вязкости смеси ν , сСт от концентрации добавок

Концентрация рапсового масла, C , %	Вязкость смеси ν , сСт, при концентрации присадки C_D , %			
	0	0,5	1,0	2,0
0	4,524	4,492	4,455	4,405
10	6,008	5,945	5,873	4,811
20	7,885	7,739	7,633	7,123
30	10,264	10,096	9,984	9,860
40	13,899	13,468	13,270	12,968
50	17,894	17,692	17,400	16,985

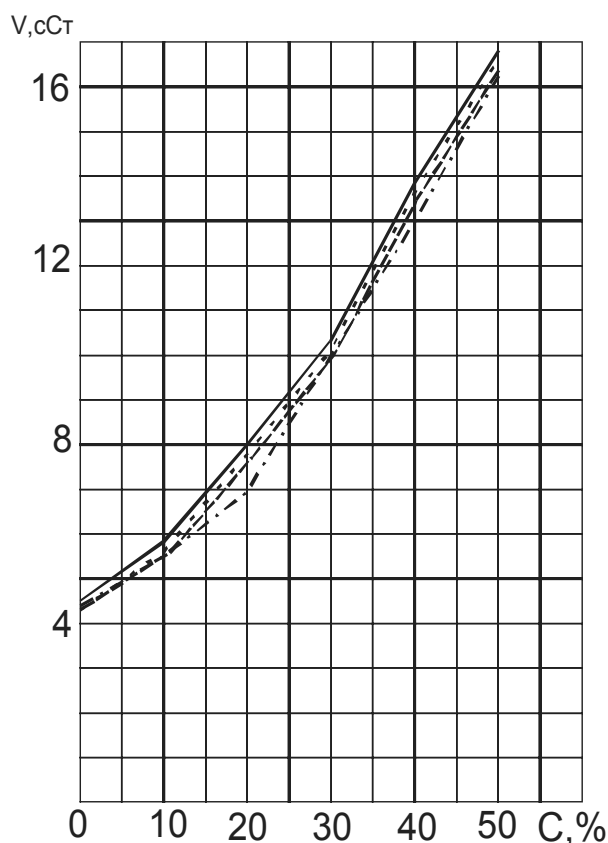


Рис. 2. Зависимость вязкости топливной смеси от концентрации добавок:

○ — ○ — 0% присадки; ✖ — ✖ — 0,5% присадки;
 □ — □ — 1,0% присадки; ▲ — ▲ — 2,0% присадки

Отсутствие надежной теоретической модели взаимодействия молекул разнородных высокомолекулярных веществ, которая позволила бы вычислить вязкость раствора, приводит к необходимости конструирования тех или иных эмпирических формул. Для описания зави-

симости вязкости смеси от концентрации компонент иногда используется экспоненциальная аппроксимация [5].

Такая аппроксимация может давать удовлетворительное согласие с экспериментом в некотором интервале концентраций, но лишена каких-либо физических оснований, и в этом смысле должна расцениваться как некоторый чисто формальный прием. Расчет вязкости смеси через взвешенное среднее текучести компонент [6] в нашем случае приводил к результатам, в несколько раз отличающимся от экспериментальных данных.

Вид концентрационных зависимостей (рис. 2) позволяет допустить квадратичную зависимость между вязкостью и концентрацией c масла:

$$v = v_0 + ac + bc^2. \quad (1)$$

В случае смеси дизельного топлива с рапсовым маслом значения параметров регрессии, найденные по экспериментальным данным, оказались следующими: $v_0 = 4,524$, $a = 96,54 \cdot 10^{-3}$ и $b = 3,407 \cdot 10^{-3}$ (v - в сантистоксах, c - в процентах). Расхождения между экспериментальными и вычисленными по квадратичной регрессии значениями вязкости не превышают 3%.

Ввиду того, что вязкость жидкости определяется в первую очередь усредненными характеристиками межмолекулярного взаимодействия, имеет смысл рассматривать вязкость смеси в зависимости от мольной доли примеси. С этой целью приведенные массовые концентрации c были пересчитаны в мольные доли примеси:

$$x = v_2 / (v_1 + v_2), \quad (2)$$

где v_1 - число молей дизельного топлива;

v_2 - число молей масла в смеси.

Молярные массы дизельного топлива, рапсового масла и присадки DIFRON H372 принимались равными соответственно 226, 932 и 175 г/моль. Полученное уравнение линейной регрессии имеет вид

$$v = 4,17 + 69,24 x, \text{ сСт}. \quad (3)$$

Сопоставление линейной модели с полученными экспериментальными результатами проведено на рис. 3.

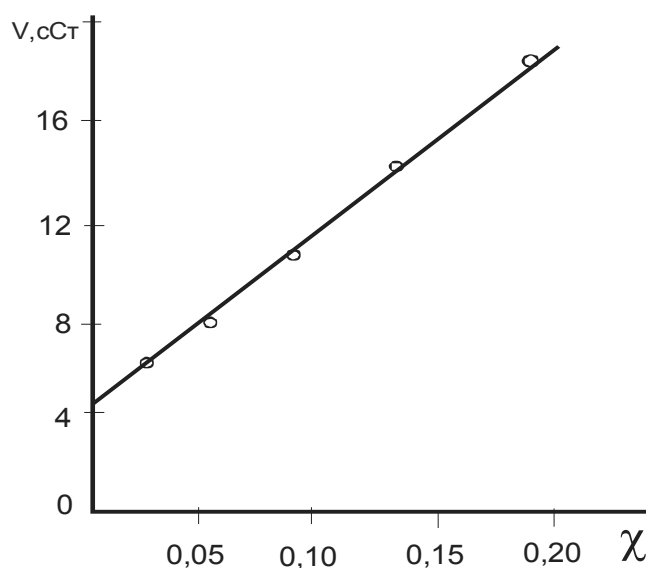


Рис. 3. Зависимость вязкости топливной смеси от мольной доли рапсового масла

Видно, что имеется удовлетворительное согласие между результатами измерений и расчетов по полуэмпирической формуле (3), что косвенно свидетельствует об адекватности

указанной линейной модели. Некоторые расхождения могут быть связаны с неточностью использованных для расчета молярных масс: авторами были взяты их типичные значения, так как детально исследовать фракционный состав дизельного топлива не представлялось возможным.

Экстраполяция измеренных значений вязкости смеси на случай $x = 1$ (чистое РМ) по формуле (3) дает результат 73,4 сСт, что гораздо ближе к экспериментальному значению вязкости чистого РМ, равной $\nu_{\text{РМ}} = 81,9$ сСт, чем результат экстраполяции по формуле (1), равный 48,2 сСт. Проведенный анализ позволяет констатировать, что при сравнительно небольших массовых концентрациях РМ (до 50%) вязкость раствора хорошо описывается эмпирической квадратичной зависимостью (1), тогда как в целом связь между молярной концентрацией примеси и вязкостью раствора адекватно описывается физически обоснованной линейной моделью (3).

Как видно из данных табл. 1 и рис. 2, влияние присадки сводится к некоторому снижению вязкости раствора. Анализ результатов позволяет обнаружить две закономерности:

- относительное уменьшение вязкости существенно превосходит процентную концентрацию присадки;
- относительное уменьшение вязкости возрастает с ростом содержания масла в растворе.

Согласно данным табл. 1 и рис. 4, добавление 2% присадки в смесь, содержащую равные массы ДТ и РМ, приводит к уменьшению вязкости на 5,1%, тогда как расчет с использованием линейной модели дает понижение вязкости только на 3,7%. Возможная причина указанного несоответствия будет рассмотрена далее.

Для выявления степени влияния различных физических факторов на вязкость смеси авторами была проведена экспериментальная оценка энергии активации E вязкого течения. С этой целью исследовалась зависимость вязкости от температуры. Согласно общепринятой активационной теории указанная зависимость должна иметь вид

$$\nu = C e^{\frac{E}{kT}}, \quad (4)$$

где k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура.

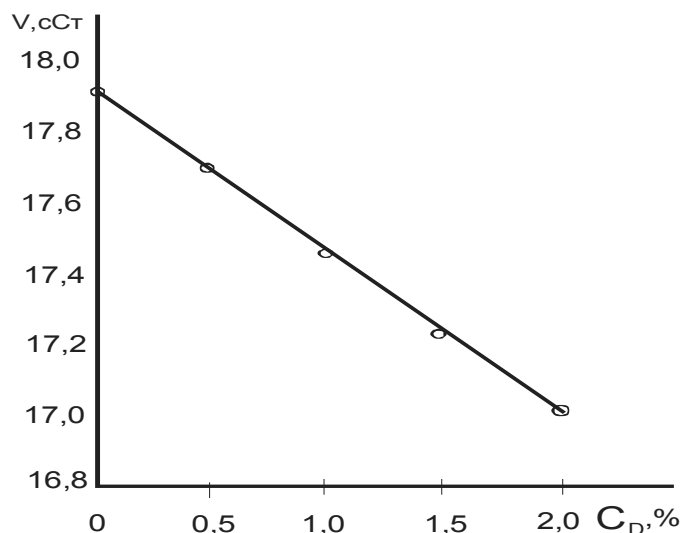


Рис. 4. Зависимость вязкости смеси от концентрации присадки C_D

Величина C слабо зависит от T и в небольшом интервале температур может считаться постоянной. Один из экспериментальных результатов представлен на рис. 5. Полученные экспериментальные оценки энергии активации приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Энергия активации вязкого течения в смесях ДТ, РМ
и цетаноповышающей присадки**

Состав смеси	Энергия активации E , эВ
100% ДТ	$0,120 \pm 0,005$
80% ДТ + 20% РМ	$0,101 \pm 0,010$
60% ДТ + 40% РМ	$0,135 \pm 0,009$
50% ДТ + 50% РМ	$0,128 \pm 0,008$
49% ДТ + 49% РМ + 2% DIFRON H372	$0,132 \pm 0,009$

Из данных табл. 2 видна некоторая тенденция к повышению энергии активации с увеличением концентрации примесей в растворе, что может быть связано с наличием дополнительного диполь-дипольного притяжения полярных фрагментов молекул масла и присадки. Однако указанные различия не выходят за рамки экспериментальной погрешности и, по-видимому, не могут служить причиной существенных вариаций вязкости смесей, наблюдавшихся в представленных измерениях.

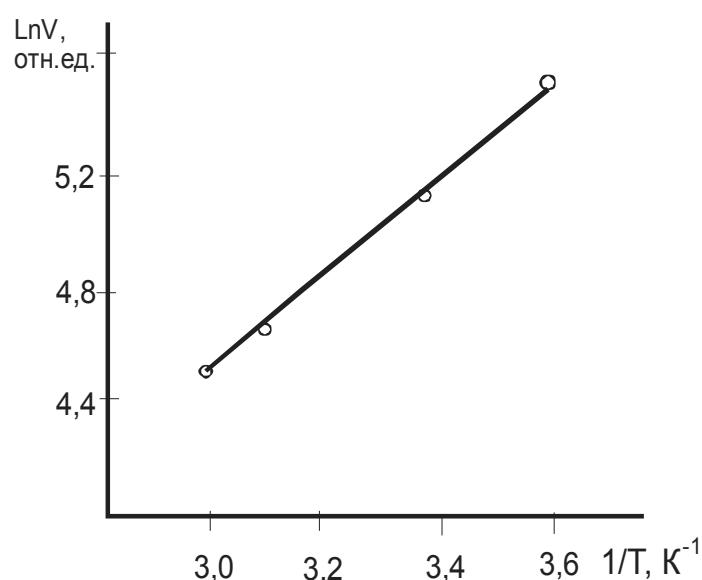


Рис. 5. Зависимость вязкости смеси от температуры
(ДТ = 49%, РМ = 49%, DIFRON H372 – 2%)

Помимо энергии активации, на вязкость органических жидкостей существенное влияние оказывает молярная масса вещества. Обычно предполагается, что предэкспоненциальный множитель в формуле (4) зависит от молярной массы степенным образом:

$$C \propto M^n, \quad (5)$$

причем показатель степени n , согласно данным разных источников [7-9], может варьироваться от $-1/6$ до $+3,5$. Для предельных тяжелых жидких углеводородов, исходя из данных [8], можно принять $n \approx 2,9$.

Рапсовое масло относится к слабополярным жидкостям: его диэлектрическая проницаемость составляет $\epsilon_{PM} = 2,84$ [9], что заметно выше диэлектрической проницаемости чистого дизельного топлива ($\epsilon_{DT} = 2,0$).

Следовательно, РМ должно обнаруживать некоторую склонность к образованию ассоциатов, приводящему к дополнительному повышению вязкости. Указанный эффект непропорционального снижения вязкости смеси может быть предположительно связан с тем, что молекулы 2-этилгексилнитрата, обладающие значительным дипольным моментом, разрушают старые ассоциаты и образуют новые, со значительно меньшей (примерно в 1,7 раза) эффективной молекулярной массой.

Выводы

Полученные данные позволяют сформулировать следующие выводы.

1. Исследовано влияние концентрации примесей на моторные свойства топливных смесей, содержащих дизельное топливо, рапсовое масло и цетаноповышающую присадку.
2. Построены математические модели формирования вязкости смеси. Показано, что зависимость вязкости от массовой концентрации и мольной доли рапсового масла удовлетворительно описывается, соответственно, квадратичной и линейной регрессиями.
3. Обнаружен и интерпретирован эффект снижения вязкости смеси за счет добавления цетаноповышающей присадки, возрастающий при повышении концентрации масла.

Библиографический список

1. **Marczuk, A.** Production and Use of Rapeseed Oil in Power Plant Machinery in the Northeast of European Part / A. Marczuk [et al.] // *Jökull Journal*. – 2017. – № 8. – V. 67 С. – P. 8–21.
2. **Карташевич, А.Н.** Исследование свойств альтернативных топлив на основе рапсового масла / А.Н. Карташевич, С.А. Плотников, П.Н. Черемисинов // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2017. – № 3. – С. 144–146.
3. **Марков, В.А.** Рапсовое масло как альтернативное топливо для дизеля / В.А. Марков [и др.] // *Автомобильная промышленность*. – 2006. – № 2. – С. 1–3.
4. **Габитова, А. Р.** Исследование коэффициента динамической вязкости рапсового масла как основы биодизельного топлива в широкой области изменения параметров состояния / А. Р. Габитова, И. Р. Габитов, З.И. Зарипов // *Вестник технологического университета*, 2015. – Т. 18. – № 17. – С. 252–253.
5. **Кувыкин, В.И.** Вязкость смеси углеводородов / К В. И.увыкин, Е. В. Кувыкина // *Естественные и математические науки в современном мире*. – 2016. – № 1 (36). – С. 46–51.
6. *Технология переработки нефти. В 2-х ч. Ч. 1* / под ред. О.Ф. Глаголевой, В.М. Капустина. – М.: Химия, КолосС, 2007. – 400 с.
7. *Новый справочник технолога и химика* / под. ред. Москвина А. В. – СПб.: НПО «Профессионал», 2006. – 1464 с.
8. **Рагозин, Н. А.** Справочник по авиационным и автомобильным топливам / Н. А. Рагозин. – М.: Гос. н.-т. изд-во нефт. и горно-топливн. лит., 1940. – 180 с.
9. **Трапезникова, Е. Ф.** Метод расчета динамической вязкости жидких углеводородов и газоконденсатов / Е. Ф. Трапезникова, С. А. Ахметов // *Башкирский химический журнал*, 2011. – Т. 18. – № 2. – С. 165–167.
10. **Аникеева, М. А.** Исследование характеристик растительных масел для высоковольтного маслонаполненного электрооборудования: дисс. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2016. – 130 с.

*Дата поступления
в редакцию 15.04.2018*

S.A. Plotnikov, P.Y. Kantor, I.S. Kozlov, M.N. Vtyurina

RESEARCH OF MOTOR PROPERTIES OF MIXES OF DIESEL FUEL WITH RAPE SEED OIL

The purpose of research was construction of mathematical model of formation of viscosity of a mix.

Object of research are properties of a mix on the basis of diesel fuel with the additive of biofuel – rape seed oils and increase tsetan korrektor additives DIFRON H372.

The research problem was consideration of laws of change of kinematic viscosity of mixes of diesel fuel with rape seed oil and influences on viscosity of the additive, operating which substance is 2 – etilgeksilnitrat.

Methods of the present research were the theoretical analysis and experimental check.

The lead experimental researches and their theoretical analysis have revealed an opportunity of interpretation and forecasting of effect of decrease in kinematic viscosity fuel mixes due to addition narrow function .

Key words: diesel fuel, biofuel, rape seed oil, tsetan korrektor additives, viscosity.