

Карнаух М.В.,
Войтов В.А.

Харьковский национальный
технический университет
сельского хозяйства
имени П.Василенко,
г. Харьков, Украина
E-mail: nikolay.karnauh@gmail.com,
vavoitovva@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ
БИОДИЗЕЛЯ В ТОПЛИВЕ НА ЭКСПЛУАТАЦИОН-
НЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ
ТРАНСПОРТА

УДК 621.936-61

Получены регрессионные уравнения и установлены зависимости изменения суммарного выброса вредных веществ в атмосферу в единице объема отработанных газов для разных составов смесевых топлив. Экспериментальным путем определены вязкостно-температурные характеристики этиловых эфиров растительных масел. Установлены оптимальные смесевые составы разных типов топлив для летнего и зимнего периода эксплуатации.

Ключевые слова: биодизель, этиловые эфиры, кинематическая вязкость, экология, моделирование, регрессионные уравнения, смесевой состав, топливная система.

Актуальность проблемы. В преддверии ожидаемого дефицита минеральных углеводородов, развитие альтернативных видов топлива является актуальной задачей. Тенденция поиска возобновляемых ресурсов направлена на энергетическую, а вместе с ней и экономическую независимость от импорта нефтепродуктов, которая в данный момент является первостепенной задачей и способствует расширению топливной базы для эксплуатации средств транспорта.

Немаловажным направлением во внедрении нетрадиционных энергоресурсов является экологический аспект, способствующий снижению техногенного воздействия на окружающую среду уменьшением выбросов вредных веществ.

Согласно данным государственной службы статистики Украины основным потребителем светлых нефтепродуктов является отрасль сельского хозяйства (27,8% от общего объема потребления) и транспорта (26,9%) [1]. Исходя из данных показателей, использование на транспортных средствах альтернативных видов топлив способствовало бы решению рассмотренных выше проблем.

Поскольку большую часть транспортных работ в отрасли сельского хозяйства и транспорта приходится на долю грузовых автомобилей, значительная часть которых оснащена дизельными двигателями, актуальным является вопрос их эксплуатации на биотопливе.

Сравнивая действующий нормативный документ на дизельное топливо [2] с предыдущим [3], наблюдаем тенденцию повышения допустимого процентного содержания биотоплива в смесевом составе с 5% до 7%. Однако в странах Европейского союза и США процентное содержание биодизеля варьируется от 10% [4] до 50% [5]. На сегодняшний день в литературных источниках отсутствует обоснованный и аргументированный показатель, который определяет долю биодизеля в общем составе топлива с учетом негативных и позитивных факторов на топливную систему, силовой агрегат и автомобиль в целом. Исходя из этого, можно констатировать, что исследования, направленные на определение оптимального процентного содержания биотоплива в смесевом составе с учетом технико-эксплуатационных характеристик средств транспорта, носят актуальный характер.

Анализ публикаций, посвященных данной проблеме. С учетом актуальности использования биодизеля, как топлива для транспортных средств, внимание ученых

направлено на отличия физико-химических свойств биотоплива от минерального и влияние этих отличий на технико-эксплуатационные характеристики транспортных средств.

Установлено, что одним из основных преимуществ биотоплива является его экологический аспект, который проявляется в снижении выбросов углекислого газа, продуктов неполного сгорания углеводородов и твердых частиц [6]. При этом его использование оказывает и негативное воздействие, а именно снижает эффективную мощность двигателя при повышении удельного расхода топлива [7] и вносит коррективы в ресурс деталей топливной аппаратуры [8]. Возникает вопрос поиска оптимального содержания биодизеля в дизельном топливе, который бы позволил определить суммарное воздействие на экономическую, экологическую и эксплуатационную составляющую и сформировать общий позитивный эффект.

К сожалению, исследования данного вопроса незначительны, поскольку требуют затрат как материального, так и временного ресурса. В работе, посвященной адаптации дизельного двигателя к бионефтяным топливным композициям [9], оптимальные границы содержания биодизеля определяются условно и находятся в пределах 40-60%. Иной подход к решению вопроса обусловлен градацией бинарной смеси с определенным шагом содержания эфиров в топливе. При этом отсутствует комплексный подход и в расчет берется показатель, ближайший к максимальному эффекту либо по экологической составляющей [10], либо по мощностным характеристикам двигателя [11].

В проведенном анализе литературных источников не уделяется должное внимание вопросу сезонной эксплуатации транспорта на биотопливе и его влиянию на ресурс топливной системы, который зависит от ряда факторов, включая кинематическую вязкость бинарной смеси. Поэтому исследования в данной работе являются актуальными и востребованными.

Цель исследований. Определить оптимальное процентное содержания биодизеля в дизельном топливе с учетом изменения кинематической вязкости смесового состава и экологических показателей работы двигателя.

Результаты исследования. По результатам предыдущих исследований [12], посвященных стендовым испытаниям дизеля Д-243 на биотопливе в виде этиловых эфиров рапсового, подсолнечного и соевого масел, можно сделать выводы о наличии рациональных режимов нагрузки дизеля, где проявляется максимальный эффект снижения выброса вредных веществ, а именно углекислого газа CO и продуктов неполного сгорания углеводородов C_nH_m . Аналогичный вывод и для твердых частиц в виде сажи. Однако при этом, на данных режимах увеличиваются выбросы оксида азота NO_x . Данную закономерность необходимо учитывать при расчете суммарного показателя выброса вредных веществ во время работы силового агрегата на различных смесовых видах топлива.

Основываясь на проведенных стендовых испытаниях дизеля, функцию изменения суммарного выброса вредных веществ будем искать в виде экспоненциальной зависимости, характерной для зависимости представленных в работе [12].

На основании экспериментальных данных суммарный выброс вредных веществ в атмосферу E , выразим следующей зависимостью:

$$E = M_v \exp(-Q_{B\%}) \quad (1)$$

где E – суммарный выброс вредных веществ в атмосферу, $г/м^3$; M_v – суммарный выброс вредных веществ в атмосферу при работе двигателя на дизельном минеральном топливе, $г/м^3$. Для дизеля Д-243 $M_v=0,24 г/м^3$; $Q_{B\%}$ – безразмерный параметр, который учитывает снижение выброса вредных веществ в зависимости от процентного содержания этиловых эфиров в дизельном топливе.

Основываясь на анализе работ, посвященных данной проблеме, запишем выражения для расчета показателя степени $Q_{B\%}$:

$$Q_{B\%} = CO_{B\%} \cdot m_{CO} + C_n H_{m_{B\%}} \cdot m_{C_n H_m} + TЧ_{B\%} \cdot m_{TЧ} - NO_{x_{B\%}} \cdot m_{NO_x}, \quad (2)$$

где $CO_{B\%}$ – величина снижения выброса CO при определенном процентном содержании этиловых эфиров в смесевом составе, безразмерная величина, определяемая по данным работы [12]; m_{CO} – весовой коэффициент, учитывающий “вес” (значимость) CO в общем объеме вредных веществ в отработавших газах; $C_n H_{m_{B\%}}$ – величина снижения выброса $C_n H_m$ при определенном процентном содержании этиловых эфиров в топливе, безразмерная величина, определяемая по данным работы [12]; $m_{C_n H_m}$ – весовой коэффициент, учитывающий “вес” (значимость) $C_n H_m$ в общем объеме вредных веществ в отработавших газах; $TЧ_{B\%}$ – величина снижения выброса твердых частиц при определенном процентном содержании этиловых эфиров в топливе, безразмерная величина, определяемая по данным работы [12]; $m_{TЧ}$ – весовой коэффициент, учитывающий “вес” (значимость) твердых частиц в общем объеме вредных веществ в отработавших газах; $NO_{x_{B\%}}$ – величина увеличения выброса NO_x при определенном процентном содержании этиловых эфиров в топливе, безразмерная величина, определяемая по данным работы [12]; m_{NO_x} – весовой коэффициент, учитывающий “вес” (значимость) NO_x в общем объеме вредных веществ в отработавших газах.

На основании массива экспериментальных данных, полученных нами при испытании дизеля на стенде, с помощью метода наименьших квадратов были получены следующие значения весовых коэффициентов: $m_{CO}=0,017$; $m_{C_n H_m}=0,0178$; $m_{TЧ}=0,0535$; $m_{NO_x}=0,63$.

Весовые коэффициенты не зависят от процентного содержания этиловых эфиров в дизельном топливе и являются безразмерной величиной, которая определяет “вес” загрязнителя в общем объеме выброса вредных веществ. Как следует из приведенных значений на первом месте по “весу” стоит NO_x , затем, в значительно меньшей мере, твердые частицы (сажа) и в более меньшей мере CO и $C_n H_m$, “вес” которых практически одинаков.

Используя формулу (2), а также значения данных работы [12], рассчитаем величину показателя степени выражения (1) для смесевого топлива с содержанием 10% этилов эфиров рапсового масла (ЭЭРМ):

$$Q_{B\%} = 12,8 \cdot 0,017 + 13,58 \cdot 0,0178 + 6,76 \cdot 0,0535 - 1 \cdot 0,63 = 0,172.$$

Аналогичным путем получим для $B30$, $Q_{B30} = 0,354$ и для $B50$, $Q_{B50} = 0,385$.

Используя расчетные значения показателя степени $Q_{B\%}$ и подставляя его в выражения (1) путем моделирования получим зависимости суммарного выброса вредных веществ в атмосферу при работе дизеля Д-243 на разных смесевых топливах, содержащих этиловые эфиры. Зависимости представлены на рис. 1.

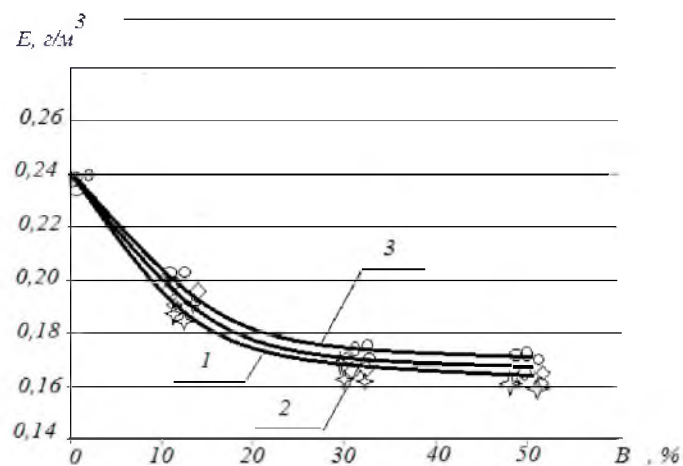


Рис. 1 – Зависимости изменения суммарного выброса вредных веществ
1 – этиловые эфиры рапсового масла (ЭЭРМ); 2 – этиловые эфиры подсолнечного масла (ЭЭПМ);
3 – этиловые эфиры соевого масла (ЭЭСМ)

Анализ представленных зависимостей позволяет сделать вывод, что интенсивное снижение выбросов вредных веществ в атмосферу характерно для смесевых топлив $B_{10} - B_{30}$. Дальнейшее увеличение этиловых эфиров в дизельном топливе эффекта не создает. На наш взгляд, это связано с противоречием одновременного снижения CO , C_nH_m , $ТЧ$ и увеличения NO_x . В связи с тем, что весовой коэффициент у показателя NO_x достаточно высокий, происходит потеря эффекта суммарного снижения выброса вредных веществ E , размерность $г/м^3$.

Полученный параметр E будет учитываться при выборе рациональных смесевых топлив для зимнего и летнего периода эксплуатации средств транспорта.

В связи с тем, что на этиловые эфиры растительных масел, на данное время, не существует разработанных и действующих стандартов в Украине и Западной Европе, а также в США, целью данного исследования явилось экспериментальным путем, в лабораторных условиях, определить кинематическую вязкость этиловых эфиров при различных температурах. Значения кинематической вязкости смесевых топлив будем использовать при обосновании рациональных составов этиловых эфиров в дизельном топливе для периодов зимней и летней эксплуатации средств транспорта.

Лабораторные исследования кинематической вязкости проводились по международному стандарту "ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-99). Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости".

Стандарт устанавливает метод определения кинематической вязкости жидких нефтепродуктов измерением времени истечения определенного объема жидкости под действием силы тяжести через калиброванный стеклянный капиллярный вискозиметр.

При испытании использовались два типа вискозиметров: ВНЖ 0,61 с диаметром капилляра 0,61 мм и диапазоном измерения от 2 до 10 $мм^2/с$, и ВНЖ 0,8 с диаметром капилляра 0,8 мм и диапазоном измерения от 6 до 30 $мм^2/с$.

Вискозиметр ВНЖ 0,61 использовался в температурном диапазоне топлива 10...40 °С, вискозиметр ВНЖ 0,8 при температуре топлива 0°С.

На первом этапе определялась кинематическая вязкость этиловых эфиров рапсового, подсолнечного и соевого масел при температурах от 10 до 40°С с шагом 10°С.

Результаты испытаний представлены на рис.2. Для сравнения на графике нанесена вязкостно-температурная характеристика для дизельного топлива.

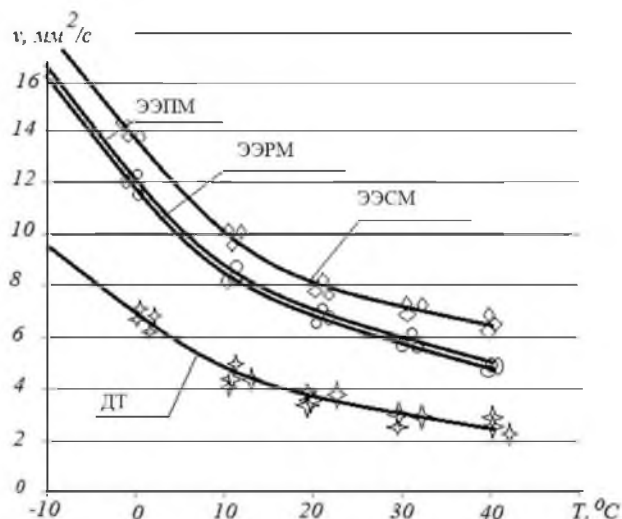


Рис. 2 – Вязкостно-температурные характеристики дизельного топлива ДТ и этиловых эфиров рапсового (ЭЭРМ), подсолнечного (ЭЭПМ) и соевого (ЭЭСМ) масел

На втором этапе определялась кинематическая вязкость этиловых эфиров растительных масел при температуре 0°C.

Применяя метод наименьших квадратов нами были получены регрессионные уравнения, которые адекватно описывают характер изменения кинематической вязкости различных типов этиловых эфиров при изменении температурного диапазона.

Зависимость изменения кинематической вязкости ν , мм²/с от изменения температуры T , °C для этиловых эфиров рапсового масла:

$$\nu_{\text{ЭЭРМ}} = 12,65 \exp(-0,0245 \cdot T), \text{ мм}^2 / \text{с}; \quad (3)$$

для этиловых эфиров подсолнечного масла:

$$\nu_{\text{ЭЭПМ}} = 12,82 \exp(-0,0245 \cdot T), \text{ мм}^2 / \text{с}; \quad (4)$$

для этиловых эфиров соевого масла:

$$\nu_{\text{ЭЭСМ}} = 1,32 \exp(-0,0245 \cdot T), \text{ мм}^2 / \text{с}; \quad (5)$$

для минерального дизельного топлива:

$$\nu_{\text{ДТ}} = 7,2 \cdot \exp(-0,028 \cdot T), \text{ мм}^2 / \text{с}; \quad (6)$$

Полученные выражения (3) – (6) были проверены на адекватность данным эксперимента по критерию Фишера с доверительной вероятностью 0,9 и позволяют расчетным путем определить кинематическую вязкость этиловых эфиров различных растительных масел при температурах летнего и зимнего периода эксплуатации.

Кинематическую вязкость смесевых топлив различных объемных концентраций можно определить согласно Американского национального Стандарта ASTM D7152-11 “Стандартная практика для расчета вязкости нефтепродуктов”.

Метод определения вязкости смеси компонентов согласно ASTM позволяет рассчитать кинематическую вязкость по известным значениям вязкости компонентов при одинаковой температуре с учетом их объемной доли в смесевом составе.

На рис. 3 представлена вязкостно-температурная характеристика для различных смесевых топлив на основе ЭЭРМ. Данные зависимости являются теоретическими, так как получены путем моделирования по методу ASTM и предназначены для учета фактора вязкости смесевых топлив при выборе оптимальных объемных концентраций этиловых эфиров в дизельном топливе для зимнего и летнего периодов эксплуатации.

Для сравнения на рис. 4 представлена вязкостно-температурная характеристика для различных объемных концентраций смесевых топлив на базе этиловых эфиров соевого масла.

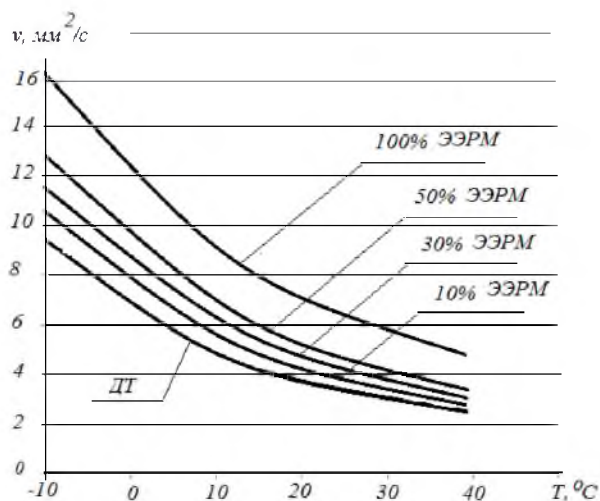


Рис. 3 – Вязкостно-температурные характеристики дизельного топлива (ДТ) и различных объемных концентраций этиловых эфиров рапсового масла (ЭЭРМ)

Анализ вязкостно-температурных характеристик различных типов этиловых эфиров позволяет сделать вывод, что этиловые эфиры соевого масла (ЭЭСМ) имеют самые высокие значения кинематической вязкости и при $T = 0^\circ\text{C}$ составляет $\nu_{\text{ЭЭСМ}} = 14,32 \text{ мм}^2/\text{с}$, а при $T = -10^\circ\text{C}$ составляет $\nu_{\text{ЭЭСМ}} = 17,75 \text{ мм}^2/\text{с}$. Исходя из данных значений, можно предположить, что среди всех имеющихся этиловых эфиров именно ЭЭСМ будут в значительной степени снижать надежность топливной системы в период зимней эксплуатации и могут быть рекомендованы для летнего периода эксплуатации в виде смесевых топлив.

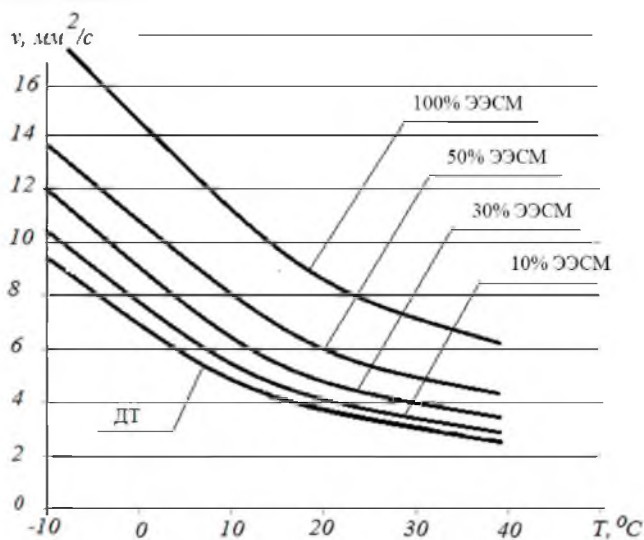


Рис. 4 – Вязкостно-температурные характеристики дизельного топлива (ДТ) и различных объемных концентраций этиловых эфиров соевого масла (ЭЭСМ)

Выводы:

1. Получены регрессионные уравнения для определения суммарного выброса вредных веществ в атмосферу с учетом одновременного уменьшения CO , C_nH_m , $\dot{O}_x$ и увеличения NO_x . Путем моделирования получена зависимость изменения суммарного выброса вредных веществ в единицах объема отработанных газов для разных составов смесевых топлив. Установлено, что максимальный эффект характерен для топлив, содержащих 10-30% этиловых эфиров. Дальнейшее увеличение процентного содержания этиловых эфиров в дизельном топливе эффекта не приносит из-за увеличения содержания NO_x в отработавших газах.

2. Экспериментальным путем получены вязкостно-температурные характеристики этиловых эфиров различных масел, которые позволили получить расчетные зависимости изменения вязкости смесевых топлив при разном процентном содержании этиловых эфиров и температуры смесевоего топлива. Установлено, что смесевые топлива на базе этиловых эфиров имеют более высокие значения кинематической вязкости, которые в 1,5-2,6 раза превышают вязкость дизельного топлива. Это приводит к затруднению прокачиваемости топлива в зимний период эксплуатации. Среди трех видов биотоплива максимальная кинематическая вязкость зафиксирована в смесевом составе на этиловых эфирах соснового масла. Исходя из этого, рекомендуется использовать данный вид топлива при эксплуатации транспортных средств только в летний период.

Література:

1. Данные государственного комитета статистики Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ukrstat.gov.ua.
2. ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне Євро. Технічні умови.
3. ДСТУ 4840:2007 Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови.
4. Birkavs A. Biodiesel impact on diesel engine high pressure pump plunger pairs / Aivars Birkavs, Aivars.Kakitis, Ilmars Dukulis // 15th International scientific conference “Engineering for rural development”: proceedings, Jelgava, Latvia, May 25 - 27, 2016. – Available at: tf.llu.lv/conference/proceedings2016/Papers/N085.pdf
5. Ogejo J. Biodiesel Fuel /Jactone A. Ogejo, Robert Grisso // Virginia Cooperative Extension. – Virginia Tech, Virginia State University, 2015. – Publication 442-880. – Available at: <https://pubs.ext.vt.edu/442/442-880/442-880.pdf>.
6. Аналіз ефективності використання біодизельного палива в двигунах внутрішнього згоряння / Т. В. Дикун, П. І. Полянський // Нафтогазова енергетика. - 2015. - № 1. - С. 86-93.
7. Черненко С.М. Економічні та енергетичні показники роботи дизельного двигуна при використанні біопалива з ріпаку / С.М. Черненко, А.Г. Атамась // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Миколи Остроградського. – Кременчук, 2007. – Вип. 2, ч. 2. – С. 85–89.
8. Дослідження особливостей фільтрації біодизеля через паперові фільтри тонкої очистки дизельних двигунів / В. А. Войтов, М. В. Карнаух, О. Б. Калужний, М. С. Даценко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. - 2010. - Вип. 40(1). - С. 282-286.
9. Розробка методів адаптації дизелів до біонафтових паливних композицій / А.М. Левтеров, В.Д. Савицький, Н.Ю. Гладкова // Проблемы машиностроения. — 2017. — Т. 20, № 3. — С. 54-63.
10. Linus N. Okoro, Fadila I. Sambo, Mukhtar Lawal and Clifford Nwaeburu. (2011b). Thermodynamic and Viscometric Evaluation of Biodiesel and Blends from Olive Oil and Cashew Nut Oil. Research Journal of Chemical Sciences, Vol. 1(4), 90-97, July (2011) ISSN 2231-606X.
11. Engine performance test of bio-diesel produced from african mesquite seed oil using pyrolysis. JS Eloka-Eboka, A.C. and Ibrahim. African Journal of Physics 3 (2010), 241 -254, 2010.
12. Карнаух, М. В. Оцінка показників паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дизеля при використанні етилових ефірів / Карнаух М. В. - С.178-185. - Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: збірник наукових трудов, Вип. 109. Проблеми технічної експлуатації машин / ХНТУСГ. – Х.

Summary

Karnaukh M.V., Vojtov V.A. Investigation of the regularities of the impact of interest content of biodiesel in the fuel to the operating characteristics of means of transport

By modeling, regression equations are obtained and the dependencies of the total emission of harmful substances into the atmosphere in units of the volume of exhaust gases for different compositions of mixed fuels are established. The viscosity-temperature characteristics of ethyl esters of vegetable oils were determined experimentally. Optimal mixture formulations of different types of fuels for summer and winter operation are established.

Keywords: biodiesel, ethyl esters, kinematic viscosity, ecology, modeling, regression equations, mixture composition, fuel system.

References

1. Danyne gosudarstvennogo komiteta statistiki Ukrainy [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: www.ukrstat.gov.ua.
2. DSTU 7688:2015 Palivo dizel'ne Ėvro. Tekhnichni umovi.
3. DSTU 4840:2007 Palivo dizel'ne pidvishchenoї yakosti. Tekhnichni umovi.
4. Birkavs A. Biodiesel impact on diesel engine high pressure pump plunger pairs / Aivars Birkavs, Aivars.Kakitis, Ilmars Dukulis // 15th International scientific conference “Engineering for rural development”: proceedings, Jelgava, Latvia, May 25 - 27, 2016. – Available at: tf.llu.lv/conference/proceedings2016/Papers/N085.pdf
5. Ogejo J. Biodiesel Fuel /Jactone A. Ogejo, Robert Grisso // Virginia Cooperative Extension. – Virginia Tech, Virginia State University, 2015. – Publication 442-880. – Available at: <https://pubs.ext.vt.edu/442/442-880/442-880.pdf>.
6. Analiz efektyvnosti vikorystannya biodizel'nogo paliva v dvigunah vnutrishn'ogo zgoryannya / T. V. Dikun, P. I. Polyans'kij // Naftogazova energetika. - 2015. - № 1. - S. 86-93.
7. CHernenko S.M. Ekonomichni ta energetichni pokazniki roboti dizel'nogo dviguna pri vikorystanni biopaliva z ripaku / S.M. CHernenko, A.G. Atamas' // Visnik Kremenchuc'kogo derzhavnogo politekhnichnogo universitetu imeni Mikoli Ostrograds'kogo. – Kremenchuk, 2007. – Vip. 2, ch. 2. – S. 85–89.
8. Doslidzhennya osoblivostej fil'tracii biodizelya cherez paperovi fil'tri tonkoї ochistki dizel'nih dviguniv / V. A. Vojtov, M. V. Karnauh, O. B. Kalyuzhnyj, M. S. Dacenko // Konstruyuvannya, virobnictvo ta ekspluataciya sil'skogospodars'kih mashin. - 2010. - Vip. 40(1). - S. 282-286.
9. Rozrobka metodiv adaptacii dizeliv do bionaftovih palivnih kompozicij / A.M. Levterov, V.D. Savic'kij, N.YU. Gladkova // Problemy mashinostroeniya. — 2017. — T. 20, № 3. — S. 54-63.
10. Linus N. Okoro, Fadila I. Sambo, Mukhtar Lawal and Clifford Nwaeburu. (2011b). Thermodynamic and Viscometric Evaluation of Biodiesel and Blends from Olive Oil and Cashew Nut Oil. Research Journal of Chemical Sciences, Vol. 1(4), 90-97, July (2011) ISSN 2231-606X.
11. Engine performance test of bio-diesel produced from african mesquite seed oil using pyrolysis. JS Eloka-Eboka, A.C. and Ibrahim. African Journal of Physics 3 (2010), 241 -254, 2010.
12. Karnauh, M. V. Ocinka pokaznikov palivnoї ekonomichnosti i toksichnosti vidprac'ovanih gaziv dizelya pri vikorystanni etilovih efiriv / Karnauh M. V. - S.178-185. - Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka [Tekst]: sbornik nauchnyh trudov, Vip. 109. Problemi tekhnichnoї ekspluatacii mashin / HNTUSG. – H.