

УДК 621.43: 662.756: 001.8

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БІОПАЛИВА ТА ЇХ СУМІШЕЙ З ДИЗЕЛЬНИМ ПАЛИВОМ  
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРА КЕРУВАННЯ ЦИКЛОВОЮ ПОДАЧЕЮ ПАЛИВА****В. Ф. Шапко, С. В. Шапко**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: shapko46@mail.ru; shapko70@mail.ru**А. І. Атамась**Національний центр «Мала академія наук України»  
вул. Мельникова, 63, м. Київ, 04050, Україна, E-mail: tema\_atamas@mail.ru

Досліджено показники дизельного палива, біопалива та їх бінарних сумішей для визначення ідентифікаційного параметру, за яким можна контролювати кількість біопалива у його суміші з дизельним паливом. Визначення цього параметру дає змогу під час використання біопалива та його сумішей з дизельним паливом з різним вмістом компонентів автоматично змінювати максимальну циклову подачу палива. В якості такого показника обрано відносно діелектричну проникність палива та обґрунтована її перевага порівняно з іншими показниками палив, зокрема, густиною та кінематичною в'язкістю. Розроблено схему паливної системи дизеля з автоматичним керуванням положення упору максимальної циклової подачі палива, в якій у якості ідентифікаційного параметру використовується відносна діелектрична проникність. Розробка захищена патентом України.

**Ключові слова:** дизельне паливо, біопаливо, ідентифікаційний показник, циклова подача палива, паливна система.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БИОТОПЛИВА И ИХ СМЕСЕЙ С ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРА УПРАВЛЕНИЯ ЦИКЛОВОЙ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА****В. Ф. Шапко, С. В. Шапко**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: shapko46@mail.ru; shapko70@mail.ru**А. И. Атамась**Национальный центр «Малая академия наук Украины»  
ул. Мельникова, 63, г. Киев, 04050, Украина. E-mail: tema\_atamas@mail.ru

Исследованы показатели дизельного топлива, биотоплива и их бинарных смесей для определения идентификационного параметра, по которому можно контролировать количество биотоплива в его смеси с дизельным топливом. Определение этого параметра позволяет при использовании биотоплива и его смесей дизельного топлива с различным содержанием компонентов автоматически изменять максимальную цикловую подачу топлива. В качестве такого показателя избрана относительная диэлектрическая проницаемость топлива и обоснована ее преимущество по сравнению с другими показателями топлив, в частности, плотности и кинематической вязкостью. Разработана схема топливной системы дизеля с автоматическим управлением положения упора максимальной цикловой подачи топлива, в которой в качестве идентификационного параметра используется относительная диэлектрическая проницаемость. Разработка защищена патентом Украины.

**Ключевые слова:** дизельное топливо, биотопливо, идентификационный показатель, цикловая подача топлива, топливная система.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Обмеженість ресурсів нафти, яка є сировиною для виготовлення автомобільних палив, її висока вартість, значний вплив на забруднення навколишнього середовища під час згоряння в двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) стимулює пошук альтернативних палив [1, 2].

Одним із альтернативних палив для автомобільного транспорту є біопаливо (БП) [3].

Власне виробництво біопалива із своєї сировини дозволяє зменшити потребу у імпортованому паливі, що підвищує енергетичну незалежність України. Використання БП дає також змогу знизити викиди шкідливих компонентів у відпрацьованих газах [4].

БП виготовляють з рослинних олій та тваринних жирів, у тому числі нехарчового призначення [5]. Такі палива отримуються з поновлюваних природних ресурсів, тому під час їх використання не тільки економляться палива нафтового походження, а й зберігається баланс вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) [6].

До складу БП входить кисень, що збільшує повноту їх згоряння у циліндрах дизелів та відповідно зменшує викиди токсичних продуктів неповного

згоряння. БП може використовуватися без істотних змін у конструкції двигуна та змішуватися зі стандартним дизельним паливом (ДП) у будь якій пропорції від 0 до 100 % [7].

Недоліком БП є те, що їх нижча теплота згоряння менша за теплоту згоряння ДП. Тому під час використання БП у дизелях потрібно збільшувати максимальну циклову подачу палива і змінювати її залежно від вмісту БП у суміші з ДП [8, 9].

Метою роботи є визначення показника, який можна було б використовувати для визначення вмісту БП у суміші з ДП для автоматичного регулювання максимальної циклової подачі палива та розробка паливної системи з використанням автоматичного її регулювання за обраним показником.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Проведені дослідження щодо визначення показників палив, які впливають на сумішоутворення та виділення теплоти й ідентифікаційних показників для використання в системі автоматичного регулювання максимальної циклової подачі палива.

Відомі паливні системи, які містять ручні упори, що дозволяє залежно від типу палива збільшувати вихід рейки паливного насоса високого тиску (ПНВТ) при роботі на менш енергоємному БП або його суміш з ДП [2].

Недоліком таких паливних систем є те, що ручний упор дозволяє встановлювати необхідну циклову подачу палива тільки при роботі на завчасно передбачених видах палива. Крім того, ручна зміна положення упору утруднює керування двигуном та може привести до виходу його з ладу при несанкціонованому його форсуванні у такий спосіб.

Також відомі паливні системи, що містять автоматичний пристрій корекції максимальної циклової подачі палива, що здійснює її корекцію залежно від виду палива та реагує на зміну таких фізичних властивостей палив як густина або в'язкість [2].

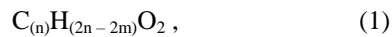
Представляє інтерес застосування на дизелях автоматичної системи, яка б змінювала максимальну циклову подачу палива залежно від складу бінарної суміші. Для реалізації такої системи необхідно обрати показник, який лінійно змінювався б залежно від вмісту БП у його суміші з ДП.

Для визначення ідентифікаційних показників в системі автоматичного регулювання цикловою подачею палива перш за все потрібно визначити елементний склад БП та його нижчу теплоту згоряння.

Елементний склад стандартного ДП відомий з багатьох літературних джерел.

Для визначення елементного складу БП найбільш придатним є метод газорідинної хроматографії, який затверджено стандартом (ДСТУ ISO 5508 – 2001). Його використання дозволяє визначити жирно-кислотний склад.

Хімічна формула жирної кислоти має вигляд



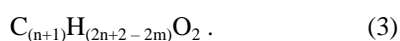
де  $n$  – кількість атомів у молекулі жирної кислоти;  $m$  – кількість подвійних зв'язків у молекулі жирної кислоти.

Молярна маса жирних кислот  $\mu_{жкк}$ , що містяться у зразку БП, визначається як сума молярних мас усіх атомів, що входять до складу молекули даної кислоти.

Виходячи з хімічної формули жирної кислоти та з того, що молярна маса вуглецю  $\mu_c$  дорівнює 12,011 кг/кмоль, водню  $\mu_n = 1,0079$  кг/кмоль та кисню  $\mu_o = 15,9994$  кг/кмоль, молярну масу жирної кислоти можна визначити за формулою, кг/кмоль

$$\mu_{жкк} = 12,011 \cdot n + 1,0079 \cdot (2n - 2m) + 15,9994 \cdot 2. \quad (2)$$

Хімічна формула метилового ефіру кожної кислоти визначається шляхом додавання до формули кислоти метиленової групи  $CH_2$ , та має вигляд



Молярна маса  $\mu_e$  кожного з метилових ефірів визначалася шляхом додавання до молярної маси відповідної жирної кислоти маси метиленової групи ( $CH_2$ ), що дорівнює 14,03 кг/кмоль

$$\mu_e = \mu_{жкк} + 14,03. \quad (4)$$

Молярні маси вуглецю, водню та кисню, що входять до складу кожного з метилових ефірів:

$$\mu_c = 12,011 \frac{n_c \cdot \mu_{жкк}}{100}, \quad (5)$$

$$\mu_n = 1,0079 \frac{n_n \cdot \mu_{жкк}}{100}, \quad (6)$$

$$\mu_o = 15,9994 \frac{n_o \cdot \mu_{жкк}}{100}, \quad (7)$$

де  $n_c$ ,  $n_n$ ,  $n_o$  – кількість атомів відповідно вуглецю, водню та кисню у кожному ефірі.

Молярна маса всіх атомів вуглецю, водню та кисню, що входять до складу БП, визначалася як сума їх молярних мас, що входять до складу кожного з метилових ефірів:

$$\sum \mu_c = 12,011 \sum \frac{n_c \cdot \mu_{жкк}}{100}; \quad (8)$$

$$\sum \mu_n = 1,0079 \sum \frac{n_n \cdot \mu_{жкк}}{100}; \quad (9)$$

$$\sum \mu_o = 15,9994 \sum \frac{n_o \cdot \mu_{жкк}}{100}. \quad (10)$$

Коефіцієнти формули усередненого гіпотетичного метилового ефіру визначалися за формулами:

$$n_c = \frac{\sum \mu_c}{12,011}; \quad (11)$$

$$n_n = \frac{\sum \mu_n}{1,0079}; \quad (12)$$

$$n_o = \frac{\sum \mu_o}{15,9994}. \quad (13)$$

Молярна маса усередненого гіпотетичного метилового ефіру може бути визначена за формулою

$$\mu_{ME} = 12,011 \cdot n_c + 1,0079 \cdot n_n + 15,9994 \cdot n_o. \quad (14)$$

Якщо попередні розрахунки проведені вірно, то  $\mu_{ME} = \mu_{жкк}$ .

Масові частки вуглецю, водню та кисню в БП визначалися за формулами:

$$g_n = \frac{\sum \mu_n}{\mu_{ME}}; \quad (16)$$

$$g_c = \frac{\sum \mu_c}{\mu_{ME}}; \quad (15)$$

$$g_o = \frac{\sum \mu_o}{\mu_{ME}}. \quad (17)$$

Отримані результати зведені до таблиці 1.

Знаючи елементний склад палива, його нижчу теплоту згоряння можна визначити за формулою Д. І. Менделєєва

$$Q_n = 34,013g_c + 125,6g_n - 10,9g_o - 2,512(9g_n + g_w), \quad (18)$$

де  $g_w$  – масова частка води у паливі.

Нижча теплота згоряння ДП дорівнює 42,5 МДж/кг, а теплота згоряння БП, яка складається з метилових ефірів олій – 37,2 МДж/кг.

Отже при використанні БП максимальна циклова

подача палива має бути збільшена відповідно зменшенню теплоти згоряння на 12,5 %.

З таблиці 1 видно, що БП містить близько 11 % кисню.

Таблиця 1 – Жирно-кислотний склад і результати розрахунку елементного складу БП

Кислоти	Формула ЖК	$\mu_{жжк}$ кг/кмоль	Формула МЕ	$\mu_e$ кг/кмоль	$C_{жжк}$ , %	$\mu_c$ кг/кмоль	$\mu_n$ кг/кмоль	$\mu_o$ кг/кмоль
C 16:0	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	256,42	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	270,45	7,05	14,40	2,42	2,26
C 18:0	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	284,47	C <sub>19</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	298,50	1,01	2,30	0,39	0,32
C 18:1	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	282,45	C <sub>19</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	296,48	36,01	82,18	13,07	11,52
C 18:2	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	280,44	C <sub>19</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	294,47	53,45	121,98	18,32	17,10
C 18:3	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	278,42	C <sub>19</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	292,45	1,05	2,40	0,34	0,34
C 20:0	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	312,52	C <sub>21</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	326,55	0,39	0,98	0,17	0,12
C 20:1	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	310,50	C <sub>21</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	324,53	0,34	0,86	0,14	0,11
C 22:0	C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub>	340,57	C <sub>23</sub> H <sub>46</sub> O <sub>2</sub>	354,60	0,7	1,93	0,32	0,22
Сума					100	$\Sigma \mu_c$ 227,03	$\Sigma \mu_n$ 35,15	$\Sigma \mu_o$ 32,00
Масові частки						$g_c$ 0,772	$g_n$ 0,119	$g_o$ 0,109

Вміст молекулярного кисню у БП повинен позитивно впливати на повноту згоряння палива.

Проаналізуємо величини густини та в'язкості БП та ДП.

Густина палив та їх сумішей вимірювалися за допомогою нафтоденсиметру АНТ – 2 за методикою, передбаченою стандартом (ГОСТ 3900 – 85 Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности).

За стандартом (ДСТУ 3868 – 99 Паливо дизельне. Технічні умови. Київ. Держстандарт України. 1999) густина літнього ДП повинна бути не більше за 860 кг/м<sup>3</sup>, зимового ДП – не більше 840 кг/м<sup>3</sup>, а густина БП за даними [1] складає 877 – 881 кг/м<sup>3</sup>. Таким чином, густина БП відрізняється від густини ДП на 3,5–6 % та лінійно змінюється залежно від температури.

Кінематична в'язкість палив та їх сумішей вимірювалися при різних температурах за допомогою капілярних віскозиметрів з різними діаметрами капілярів за методикою, передбаченою ДСТУ (ГОСТ 33-2003 (ИСО 3104-94). Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости). Кінематична в'язкість літнього ДП за ДСТУ 3868 – 99 має складати 3,0 – 6,0 мм<sup>2</sup>/с, а ДП зимового – 1,8 – 6,0 мм<sup>2</sup>/с. Кінематична в'язкість БП за даними роботи [1] складає 6,5 – 8,0 мм<sup>2</sup>/с.

Отже кінематична в'язкість БП може відрізнятися від кінематичної в'язкості ДП у досить широких межах – на 8–78 %. Залежність кінематичної в'язкості від температури є не лінійною.

Результати вимірювань густини та кінематичної в'язкості ДП і БП залежно від температури наведені на рис. 1 і 2. Ці показники лінійно змінюються залежно від вмісту БП у ДП, але їх використовувати у

якості ідентифікаційних параметрів не доцільно.

Є також інші показники палив, а саме: температура застигання, гранична температура фільтрування, фракційний склад, температура спалаху у закритому тиглі, цетанове число тощо. Але дані показники не можуть вимірюватися безпосередньо у автоматичній системі, розміщеній на борту транспортного засобу, тому вони у даній роботі не досліджувалися.

Інтерес представляє використання в якості ідентифікаційного параметру діелектричної проникності палива через те, що будова та зміщення електронної густини ДП та БП відрізняються між собою, тому їх діелектричні проникливості різні.

Для таких діелектриків як ДП та БП ця величина на повинна суттєво змінюватися залежно від температури. ДП складається з неполярних симетричних молекул, а молекули БП мають деяку полярність. Вимірювання діелектричної проникності БП, ДП та їх сумішей проводилося шляхом порівняння спеціального плоского конденсатора у досліджуваний зразок палива з визначенням його електричної ємності.

Діелектрична проникність може з легкістю вимірюватися безпосередньо на борту транспортного засобу за допомогою ємнісного датчика досить простої конструкції. Такі датчики добре поєднуються з сучасними електронними системами керування ДВЗ.

З рис. 3 видно, що діелектрична проникність ДП та БП мало залежить від температури та має досить близьку до лінійної залежність від вмісту БП у суміші з ДП (рис. 4).

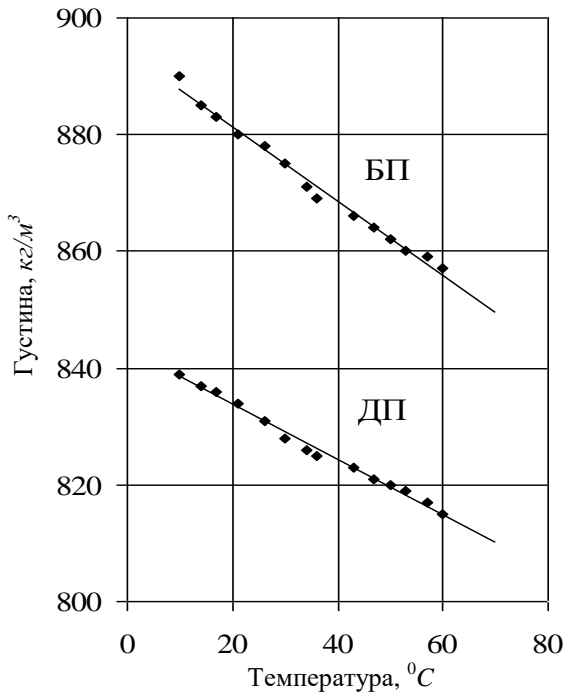


Рисунок 1 – Залежність густини палив від температури

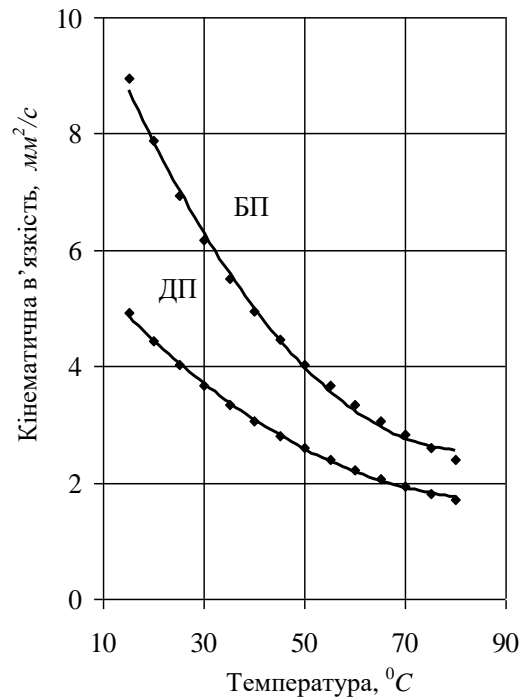


Рисунок 2 – Залежність в'язкості палив від температури

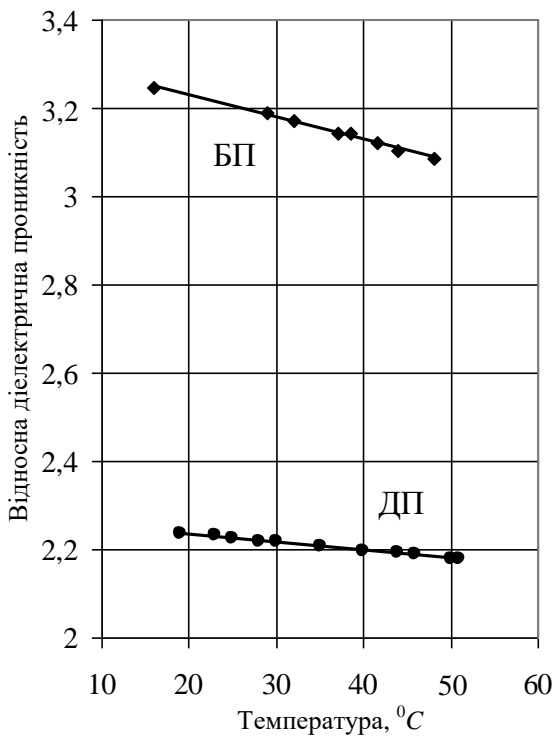


Рисунок 3 – Залежності діелектричної проникності ДП та БП від температури

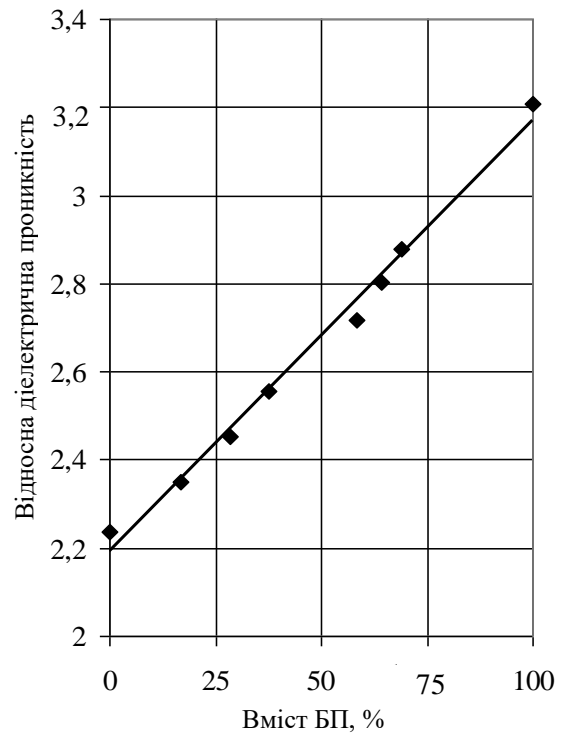


Рисунок 4 – Залежність діелектричної проникності суміші БП з ДП від вмісту БП

У табл. 2 приведені значення зміни густини, кінематичної в'язкості та діелектричної проникності від температури у  $\% / ^\circ\text{C}$ . Для кінематичної в'язкості визначена середня зміна, оскільки її залежність від температури є нелінійною. З табл. 2 видно, що найменшу зміну залежно від температури має густина палив.

Таблиця 2 – Зміни густини, в'язкості та діелектричної проникності ДП та БП залежно від температури

Паливо	Показник		
	$\Delta\rho, \%/^\circ\text{C}$	$\Delta\nu_{\text{сер}}, \%/^\circ\text{C}$	$\Delta\varepsilon, \%/^\circ\text{C}$
ДП	0,057	1,009	0,082
БП	0,074	1,124	0,159

Зміна діелектричної проникності від температури є більшою за зміну густини. Але різниця між густинами ДП і БП складає лише 5 %, а різниця між діелектричними проникностями палив – понад 30 %.

Кінематична в'язкість палив значно більше змінюється залежно від температури та, як було сказано вище, може змінюватися для ДП та БП у дуже широких межах.

Таким чином, найбільш прийнятним показником для визначення складу бінарних паливних сумішей у системах автоматичного керування паливопода-

чею є діелектрична проникність палив.

Для ефективної роботи двигуна під час використання сумішей ДП з БП різного складу двигун пропонується оснащувати паливною системою з автоматичним регулюванням положення упору максимальної циклової подачі палива паливним насосом високого тиску (ПНВТ), яка захищена патентом України [10].

На рис. 5 наведена схема паливної системи дизеля для роботи на ДП, БП та їх сумішах.

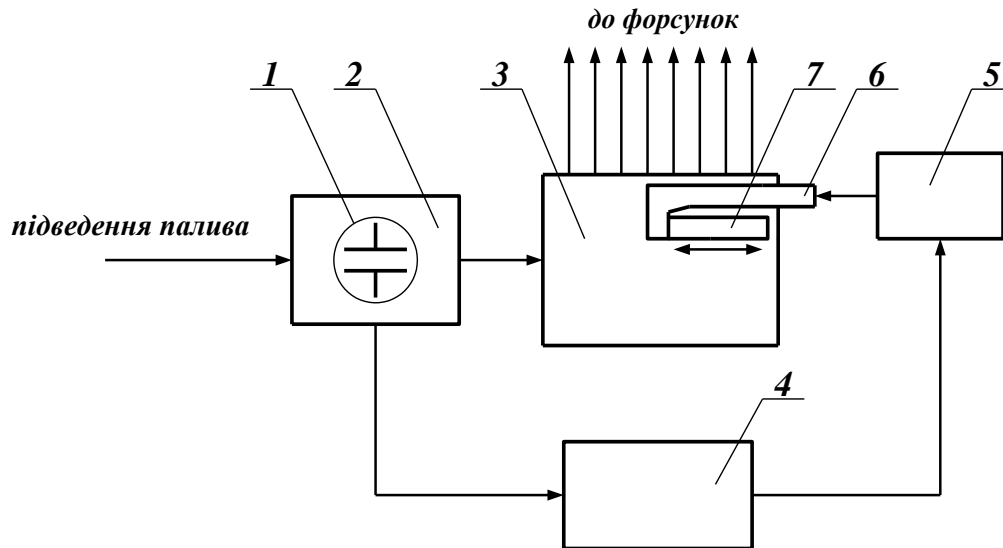


Рисунок 5 – Паливна система дизеля:

- 1 – емнісний датчик; 2 – розширення трубопроводу; 3 – паливний насос високого тиску;  
4 – електронний блок; 5 – електропривід переміщення упору;  
6 – упор дозуючого органу; 7 – дозуючий орган паливного насосу високого тиску

Паливна система містить емнісний датчик 1 визначення складу палива, який знаходиться у розширенні 2 трубопроводу низького тиску, зв'язаному з виходом фільтра тонкого очищення палива з одного боку та паливним насосом високого тиску 3 з другого боку. Датчик 1 зв'язаний з електронним блоком 4 керування виконавчим електроприводом 5 переміщення упору 6 дозуючого органу 7 паливного насосу високого тиску.

Підвід палива у паливній системі здійснюється з виходу фільтра тонкого очищення палива. Вміст БП у суміші з ДП фіксується датчиком 1. З підвищенням вмісту БП у бінарній суміші ДП з БП від 0 % до 100 % електрична ємність датчику 1 лінійно зростає. Сигнал зміни електричної ємності подається до електронного блоку керування 4, який перетворює його на керуючий сигнал для електромеханізму 5, який у свою чергу здійснює відповідно до вмісту БП у бінарній суміші переміщення упору 6 дозуючого органу 7 паливного насосу високого тиску у бік збільшення циклової подачі палива.

**ВИСНОВКИ.** Найбільш прийнятним показником для визначення складу паливних сумішей БП з ДП у системах автоматичного керування паливоподачею є діелектрична проникність палив, оскільки вона у цих палив відрізняється на 30 %, лінійно змінюється залежно від вмісту БП у суміші з ДП та

мало залежить від температури.

Рекомендується оснащувати двигун паливною системою з автоматичним керуванням положення упору максимальної циклової подачі палива з використанням у якості ідентифікаційного показника діелектричну проникність палив.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Десянин, В.А. Марков, В.Г. Семёнов. – Харьков: Новое слово, 2007. – 452 с.
2. Марков В.А., Козлов С.И. Топлива и топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 296 с.
3. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. Лютко, В.Н. Луканин, А.С. Хачиян. – М.: МАДИ (ТУ). 2000. – 311 с.
4. Корпач А.А., Левковский А.А. Метилловый эфир рапсового масла как топливо для автотракторных двигателей. // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 6 – С. 32–33.
5. Васильев И.П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля: монография. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. – 240 с.

6. Захарчук В.І., Ткачук В.В. Вплив дизельних біопалив на екологічну ситуацію довкілля // Товарознавчий вісник. – 2011. – Вип. 3. – С. 300–306.

7. Оптимизация состава смесового биотоплива для транспортного дизеля / Н.А. Иващенко, В.А. Марков, А.А. Ефанов и др. // Безопасность в техносфере. – 2007. – № 5. – С. 22–25.

8. Підвищення екологічних показників дизельного автомобіля під час використання біодизельного палива / А.І. Атамась, В.Ф. Шапко, С.В. Шапко // Вісник Кременчуцького національного університету

ім. М. Остроградського. – Кременчук, 2012. – Вип. 3/2012(74). – С.128–132.

9. Рапсовое биотопливо / А.П. Уханов, В.А. Рачкин, Д.А. Уханов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2008. – 229 с.

10. Паливна система дизеля для роботи на біодизельному, дизельному паливах та їх сумішах / В.Ф. Шапко, В.Г. Семенов, А.І. Атамась Патент України 53453, МПК<sup>51</sup> F02M 43/00; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19. – 3 с.

## THE RESEARCH OF BIOFUELS AND DIESEL FUEL BLENDS INDICATORS TO DETERMINE THE FUEL SUPPLY CYCLE PARAMETERS CONTROL

V. Shapko, S. Shapko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: shapko46@mail.ru; shapko70@mail.ru

A. Atamas

Kyiv National Center «Junior Academy of Sciences of Ukraine»

vul. Melnikova, 63, Kyiv, 04050, Ukraine. E-mail: tema\_atamas@mail.ru

**Purpose.** The article is devoted to the indicators determination which could be used to control the content of biofuels in blends with diesel fuel for systems automatic control of the maximum cyclic fuel delivery. **Methodology** is based on the analyses of diesel fuel, biofuels and their mixtures indicators for the possibility of their use as identification parameters that may determine the amount of biofuel in its diesel fuel. **Results.** The relative permittivity as a fuel control parameter in the mixture of biofuel with a diesel fuel in an automatic systems control maximum cyclic fuel delivery has been stated. **Originality.** The literature overview has confirmed the benefits of using the dielectric constant of fuel compared to other indicators, including the density and kinematic viscosity. **Practical value.** It has been defined that for efficient operation of the engine when using biofuel in blends with of diesel fuel of different composition the engine should be equipped with system of automatic adjustment position of maximum cyclic fuel feed high pressure fuel pump, which is protected by patent of Ukraine 53453. References 10, tables 2, figures 5.

**Key words:** diesel fuel, biofuel, identification index, sequencing portion of fuel, fuel system.

### REFERENCES

1. Devyanin, S.N., Markov, V.A., Semyonov, V.G. (2007), *Rastitelnyje masla i topliva na ih osnove dlya dizelnyh dvigateley* [Vegetable oils and fuels based on them for diesel engines], Novoe slovo, Kharkov, Ukraine.

2. Markov, V.A., Kozlov, S.I. (2000), *Topliva i toplivopodacha mnogotoplivnyh i gazodizelnyh dvigateley* [Fuel and fuel supply multi-fuel and gas diesel engines], Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, Moscow, Russia.

3. Lotko, V., Lykanin, V.N., Hachiyani, A.S. (2000) *Primenenie alternativnykh topliv v dvigatelyah vnytrejnogo sgoraniya* [The use of alternative fuels in the internal combustion engines], MADI (TU). – Moscow, Russia.

4. Korpach, A.A., Levkovskiy, A.A. (2012) *Metilovyy efir pasovogo masla kak toplivo dlya avtotraktornyh dvigateley* [The methyl ester of rapeseed oil as a fuel for automotive engines], *Avtomobil'naya promyshlennost'*, no 6, pp. 32–33.

5. Vasil'ev, I.P. (2009). *Vliyanie topliv pastitel'nogo proishogdeniya na ekologicheskie i ekonomicheskie pokazateli dvigatelya : monografiya* [Effect of plant fuels for environmental and economic performance of the diesel engine: monograph], izd-vo VNU im. V. Dal'ya, Lygansk, Ukraine.

6. Zaharchuk, V.I., Tkachuk, V.V. (2011) *Vplyv dizelnyh biopaluv na ekologichnu situaciyu dovki'lya*. [The impact of biodiesel on the environment environ-

ment], *Tovarovnavchuy visnuk*, iss. no 3, pp. 300–306.

7. Ivachenko, N.A., Markov, V.A., Efanov, A.A. et al. (2007). *Optimizaciya sostava smesovogo biotopliva dlya avtotransportnogo dizelya*. [Optimization of the composition of the mix of biofuels for transport diesel], *Bezopasnost v tehnosfere*, no 5 pp. 22–25.

8. Atamas, A.I., Shapko, V.F., Shapko, S.V. (2012), *Pidvichenya ekologichnuh pokaznikiv duzel'nogo avtomobilya pid chyas bukorustannya bioduzel'nogo palyjva*. [Improving the environmental performance of diesel automobile using biodiesel fuel, Transaction of Kremenchuk Mykhailo Ostrogradskyi National university, iss. 3 (74), pp. 128–132.

9. Uhanov, A.P., Rachkin, V.A., Uhanov, D.A. (2008) *Rapsovoe toplivo* [Rapeseed biofuel], RIO PGSHA, Penza, Russia.

10. Shapko, V.F., Semenov, V.G., Atamas, A.I. (2010), *Palivna sistema dizelya dlya roboty na biodizel'nomu, dizel'nomu palivah ta yih sumishah*. [The fuel system of a diesel engine to run on biodiesel, diesel fuel and mixtures thereof], Patent Ukraine 53453. МПК<sup>51</sup> F02M 43/00, opublik. 11.10.2010, Byl. no 19.

Стаття надійшла 01.11.2016.