

## ЗБАЛАНСОВАНЕ РЕСУРСКОРИСТУВАННЯ

УДК 504.06 : 662.756.3 : 656.13

*В. М. Мельник, Ф. В. Козак*

*Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу*

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА НА ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНАХ

Виконано дослідження ефективності використання біодизельного палива на основі RME у сумішах з товарним дизельним паливом на двигунах внутрішнього згорання. За результатами досліджень побудовано графічну залежність зміни ціни товарного палива у залежності від відсоткового вмісту в ньому RME. Для прийнятих цін на дизельне паливо та RME з проведених досліджень випливає, що із збільшенням процентного вмісту RME в паливних сумішах досягається збільшення ефективності їх застосування (за рахунок використання у сумішах дизельного палива з низьким цетановим числом).

**Ключові слова:** альтернативне паливо, суміші, ефективність, автомобільні двигуни, застосування, економія.

The research on the efficiency of the use of RME based biodiesel fuel in mixtures with commercial diesel fuel on internal combustion engines has been carried out. According to the results of the research, graphic dependence of the change in the price of commodity fuel was constructed, depending on the percentage content in the RME. For accepted diesel prices and RME from the studies, it follows that increasing RME content in fuel mixtures results in an increase in the cost-effectiveness of their use due to the use of low-cetane diesel fuel mixtures.

**Keywords:** alternative fuel, blends, efficiency, automobile engines, application, economy.

**Постановка проблеми.** Україна належить до країн, які мають дефіцит власних енергоносіїв. За останні роки в Україні частка імпорту нафтопродуктів сягнула 78%.

У 2017 році скорочення внутрішнього виробництва бензину та дизельного палива продовжувалося. Очікується, що за підсумками 2018 року воно становитиме близько 3,0 млн т (зокрема бензину 1,5 млн т). Отже, близько 80% споживаного ресурсу надійде на Україну за імпортними контрактами.

На сьогодні, відомо десятки видів альтернативних вуглеводневим видів палива, як для бензинових, так і для дизельних двигунів.

Технологія одержання будь-якого альтернативного палива передбачає дві головні стадії:

- процес екологічно безпечного утворення (синтезу) нового моторного палива з певними фізико-технічними та експлуатаційними характеристиками, що апріорі не вимагатиме в наступному внесення змін до конструкції системи живлення двигунів;
- процес використання (спалювання) одержаного моторного палива в двигунах з дотриманням екологічних нормативів щодо складу відпрацьованих газів.

Ефективність використання альтернативних палив, що впливає на їх попит, у більшості випадків не відома, а її дослідження ускладнюється тим, що більшість альтернативних палив застосовуються у сумішах з товарними паливами.

А, отже, для України та світу досить актуальним є питання раціонального застосування альтернативних видів палива і дослідження ефективності їх використання як у чистому вигляді так і в результаті їх змішування з товарними вуглеводневими паливами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Біодизельне паливо було відоме з початку минулого сторіччя, але ним зневажали через наявність дешевих нафтових палив. Дане паливо отримують за допомогою процесу етерифікації із залученням реакції зі спиртом у присутності каталізатора. Продукти ефіру різні (RME - ріпаковий метилефір, KME – конопельний метилефір тощо). Через вміст кисню це паливо є дуже чистим і дає на 50% менше викидів вуглецю, ніж товарне дизельне паливо, а також меншу кількість азоту і монооксидів вуглецю [1].

Тверді речовини, що викидаються при згорянні біодизельного палива, на відміну від тих, що викидаються при згорянні нафтодизельного палива, не є канцерогенними. Біодизельне паливо не містить сірки, крім тієї, якою заражений ґрунт, яка міститься у кислотних дощах або комерційному промисловому спирті, що використовується при переробці [1].

В сезоні 2017/18 років Франція розраховує зібрати 4,7 млн тонн, а Німеччина збільшить виробництво ріпаку на 4,6% до 4,78 млн тонн.

Польща займає 3-є місце в ЄС за обсягами виробництва ріпаку і цього року розраховує зібрати 2,9 млн тон, що на 31% більше, ніж було зібрано в минулому році.

Велика Британія збере 1,9-2,0 млн тон ріпаку проти 1,77 млн тон в 2016/17 роках.

У США розвиток виробництва біологічного палива у великих масштабах почався з етанолу, а саме з виробництва 4,4 мільярдів літрів (1999 р.) у рік (понад 3,5 млн тонн) і забезпечило 200 тис. робочих місць у сільськогосподарському секторі. За інформацією, отриманою після проведення Міжнародного семінару з розвитку паливного етанолу (Вашингтон, 27 вересня 2001 року) у 2000 році виробництво етанолу із зерна в США досягнуло понад 4,8 млн тонн. Також у США є 57 заводів, які виробляють етанол з зерна, щорічною потужністю понад 5,7 млрд. літрів (4,6 млн тонн) які розташовані у 19 штатах, крім того будуються ще заводи проектною щорічною потужністю біля 1,3 млрд. літрів [2].

Виробництво біодизельного палива в США було очолено Асоціацією виробників сої, створеної для задоволення потреби у соєвій олії. Протягом 2000 року виробництво біодизельного палива досягло майже 2 млн тонн – у два рази більше загальноєвропейського виробництва [2].

Зараз частка світового продажу біопалива становить 3,5% у загальному обсязі транспортного бензину, і передбачається, що до 2020 р. цей ринок розшириться до 3,9% [2].

Біодизельне паливо виробляється в Європі відповідно до прийнятого стандарту Австрійського Інституту специфікації біологічного палива E DIN 51606 [3], а у США - відповідно до специфікації B100 Національної лабораторії з поновлюваних джерел енергії.

Щоб оцінити, наскільки реальною і масштабною може бути заміна нафтового дизельного палива (ДП) біологічним паливом на основі ріпакової олії, необхідно проаналізувати два питання:

- на скільки ріпакова олія або продукти її переробки відповідають вимогам ДП;
- за яких умов можлива заміна дизельного палива ріпаковою олією або її похідними.

Для цього розглянуто властивості ріпакової олії як моторного палива, і порівняно їх з властивостями ДП наведені у [4].

Дані аналізу властивостей ріпакової олії свідчать про можливість застосування її як палива для дизелів. Разом з тим деякі властивості ріпакової олії не дозволяють застосовувати її безпосередньо в сучасних дизелях, які призначені для роботи на дизельному паливі. До таких властивостей належать в'язкість та температура спалаху, які у ріпакової олії вищі в 14–25 разів та в 2,8–3,1 рази відповідно. Ці властивості ріпакової олії призводять до погіршення розпилювання, сумішоутворення і згорання палива у

дизелі. Крім того, мають місце жирові відкладення в каналах паливної апаратури [4, 5].

Разом з тим при випробуваннях були виявлені: осад, сліди слизу і жиру на стінках колби, в якій зберігались суміші, що свідчить про слабку хімічну стабільність сумішей, що скорочує їх термін зберігання [5, 6].

Більш впевнено можна стверджувати про можливість широкого застосування продукту переробки ріпакової олії – складного ріпакового метилового ефіру (RME), який за своїми моторними якостями: цетанове число, в'язкість, температура википання та застигання, близький до дизельного палива. Його можна застосовувати на серійних дизелях без будь-яких змін. Перші дослідження з технології отримання та використання RME були проведені в Австрії [5].

Отримують RME шляхом хімічної переробки ріпакової олії при змішуванні 1000 л олії, 110 л метилового спирту і 16 л каталізатора (гідроксиду калію або натрію) з наступною термічною обробкою. При цьому отримують 1000 л RME, 110 кг гліцерину і частково метанол. Проведені випробування на чотирьохциліндровому дизелі показали, що потужність дизеля на RME така ж, як і на дизельному паливі, але при роботі двигуна на такому паливі виявлено розрідження моторної оливи [5].

Широкомасштабні експерименти що до використання продукту переробки ріпакової олії – метилового складного ефіру (RME), як добавки до дизельного палива, були проведені у Франції [4, 5].

Лабораторні, стендові та експлуатаційні випробування на двигунах і автомобілях показали, що суміш RME (в кількості 5%) і ДП не впливає на довговічність деталей дизеля і автомобіля, стан його вузлів і систем, призводить до дуже незначного збільшення витрати палива, практично не впливає на екологічні показники двигуна, дещо погіршує пускові якості холодного дизеля в зв'язку з більшою в'язкістю. Ріпаковий метилетаноат розглядається як один із компонентів палив для дизелів.

Широкі дослідження щодо застосування сумішей ріпакової олії і ДП для живлення серійних дизелів проведені в Німеччині. При цьому для зниження в'язкості суміші застосовувалось підігрівання за допомогою систем охолодження та змащення двигуна. Особливий інтерес мають дослідження роботи дизеля на паливній суміші, яка складається з ДП і ріпакової олії (по 40%), води (19%) та рідкого емульгатора (1%) (вода сприяє зменшенню нагароутворення) [4, 7].

Випробування дизелів СМД-62 і Д-240 при роботі на суміші (75% ріпакової олії і 25% ДП), що названа “біодіз”, проведені в Росії. Ці випробування показали, що при незмінному регулюванні паливної апаратури потужність двигуна зменшується лише на 4,5% [8].

В м. Наісі (Франція) проведені випробування десяти автобусів при роботі на суміші, що складається з 70% ДП і 30% біопалива Diester, отриманого з ріпаку [8].

Велика увага в останні роки приділяється дослідженням щодо використання необробленої ріпакової олії в спеціально сконструйованих для цього дизелях. Зокрема, цей напрямок інтенсивно розробляється в Німеччині. Фірмою “Ельсбетт-Конструкціон” розроблений і серійно випускається дизель, який працюючи на ріпаковій олії та захищений від нагару. Цей напрямок використання ріпакової олії приваблює нескладним технологічним процесом підготовки біологічного палива, але пов'язаний з досить складними змінами конструкції дизелів і може бути вирішений лише на рівні двигунобудівної галузі [7, 8].

Відомі також сучасні технології одержання рідкого палива для дизельних двигунів із біомаси шляхом швидкого піролізу [9, 10]. Конструкція установок швидкого піролізу біомаси їх продуктивність приводиться [11–15].

Сьогодні відомі як комерційні так і промислові установки з широким діапазоном продуктивності, з допомогою яких можна одержати паливо для дизелів (піропаливо), характеристика та фізико-хімічні властивості якого наведені в [11, 16–18].

Порівняльна оцінка піропаливо з традиційними паливами дизельних двигунів,

оцінка собівартості виготовлення біопалива, а також перспективи розвитку даного методу одержання палива наводяться у [19–23].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Отже, на основі проведеного аналізу останніх досліджень відомо, що розроблено велику кількість альтернативних біопалив, як для бензинових так і для дизельних двигунів. Проте у процесі їх застосування, а особливо у паливних сумішах з традиційними вуглеводневими паливами, виникає питання ефективності їх застосування на двигунах, що на сьогоднішній час майже не досліджено.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є дослідження ефективності застосування RME у якості добавок до товарного ДП, що забезпечить вирішення проблеми раціонального природокористування.

**Дослідження ефективності використання біодизельного палива на двигунах внутрішнього згорання.**

До основного показника ДП, що суттєво впливає на його вартість належить цетанове число (ЦЧ). Цей показник характеризує здатність ДП до самозаймання після його вприскування в камеру згоряє двигуна, і визначає період затримки самозаймання суміші від моменту вприскування в циліндр до початку горіння. Чим вище ЦЧ, тим легше паливо займається, тим коротший період затримки самозаймання і тим більш м'яко і плавно горить паливна суміш [1].

Більшість виробників двигунів рекомендує використовувати ДП з ЦЧ не менше 40. В Європі випускають дизельне паливо з ЦЧ близько 51, в Японії - приблизно 50 [1], проте збільшення ЦЧ понад 60 несе негативний вплив на потужності двигуна та його техніко експлуатаційні показники роботи.

На ефективність застосування RME при їх добавці до ДП з подальшим спалюванням на двигуні внутрішнього згорання (ДВЗ) впливають фінансові витрати на паливо, тому, що інші витрати (на оливу, амортизаційні відрахування і т.д.), як під час роботи автомобіля на ДП так і на суміші ДП з RME, будуть практично однаковими [24].

Доцільність додавання RME до дизельного палива визначається за методикою [24] якщо:

$$C_{ТДП} \geq (C_{ДП} \cdot q_{ДП} + C_{RME} \cdot q_{RME}) \cdot k, \quad (1)$$

де  $C_{ТДП}$  – роздрібна ціна однієї тонни товарного ДП, грн. /т;

$C_{ДП}$  – роздрібна ціна однієї тонни ДП, що використовується в паливних сумішах, грн. /т;

$C_{RME}$  – роздрібна ціна однієї тони біодизеля, грн. /т;

$q_{ДП}$  – масова частка ДП в паливних сумішах;

$q_{RME}$  – масова частка біодизельного палива в паливних сумішах;

$k$  – коефіцієнт, який враховує збільшення витрати паливної суміші, і визначається з рівняння балансу теплоти, яка міститься в товарному ДП та паливних сумішах ДП і RME [24].

Нижчу теплоту згорання паливних сумішей знаходимо за формулою: [24]:

$$h_{НПС} = h_{НДП} \cdot q_{ДП} + h_{RME} \cdot q_{RME}, \quad (2)$$

де  $h_{RME}$  – нижча теплота згорання біодизельного палива, яка згідно досліджень складає  $h_{RME}=39450$  кДж/кг, для RME з густиною  $\rho=874$  кг/м<sup>3</sup>;

$h_{НДП}$  – нижча теплота згорання ДП,  $h_{НДП}=42600$  кДж/кг [1].

З урахуванням формули (2) отримуємо:

$$k = \frac{h_{НДП}}{h_{НДП} \cdot q_{ДП} + h_{RME} \cdot q_{RME}}. \quad (3)$$

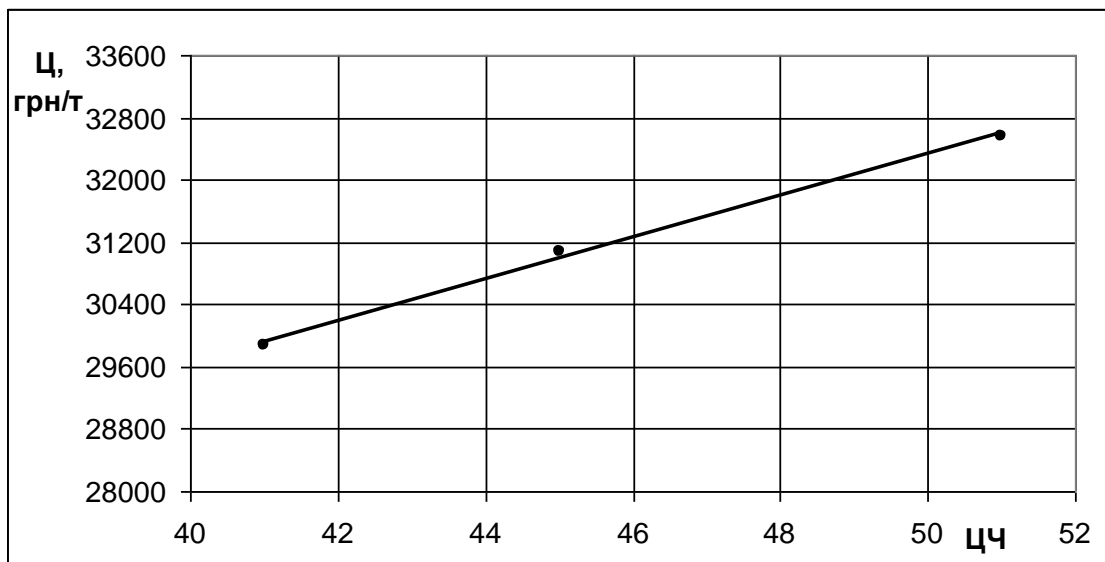
Значення коефіцієнта  $k$  залежно від масової частки сивушних масел в паливних сумішах наводяться в табл. 1.

Для розрахунку ефективності застосування біодизеля на двигуні необхідно мати залежність зміни ціни товарного ДП від ЦЧ. Виходячи з роздрібних цін товарне ДП на час проведення розрахунків, вартість однієї тонни ДП в залежності від ЦЧ становила для ДП з ЦЧ не менше 41 – 29878 грн./т, при ЦЧ не менше 45 – 31086 грн./т, для ДП з ЦЧ не менше 51 – 32561 грн./т., що показано графічно на рис. 1.

Таблиця 1

**Значення коефіцієнта k в залежно від масової частки RME в паливних сумішах**

$q_{RME}$	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1
K	1,01	1,02	1,03	1,05	1,06	1,08



**Рис. 1. Залежність зміни ціни товарного ДП в залежності від цетанового числа**

Вартість ДП, використовуючи рис.1, можна описати рівнянням:

$$C_{\text{тдп}} = 266,53 C_{\text{тдп}} + 19003, \tag{4}$$

де  $C_{\text{тдп}}$  – цетанове число товарного ДП. При цьому коефіцієнт кореляції даної залежності рівний  $R^2=0,99$ .

Значення  $C_{\text{чдп}}$ , необхідного для змішування з біодизелем розраховують за залежністю:

$$C_{\text{чдп}} = C_{\text{чтдп}} - \Delta C_{\text{ч}}, \tag{5}$$

де  $\Delta C_{\text{ч}}$  – приріст цетанового числа суміші ДП і RME, що визначається за процентним масовим вмістом RME в паливних сумішах і визначається за залежністю (8).

Ефективність застосування паливних сумішей оцінюється різницею цін однієї тонни товарного ДП і відповідної за теплою згорання кількості паливної суміші RME і ДП та визначається за залежністю:

$$\Delta E_k = C_{\text{тдп}} - (C_{\text{дп}} \cdot q_{\text{дп}} + C_{\text{RME}} \cdot q_{\text{RME}}) \cdot k \tag{6}$$

В розрахунках прийнята вартість однієї тонни RME – 21000 грн./т.

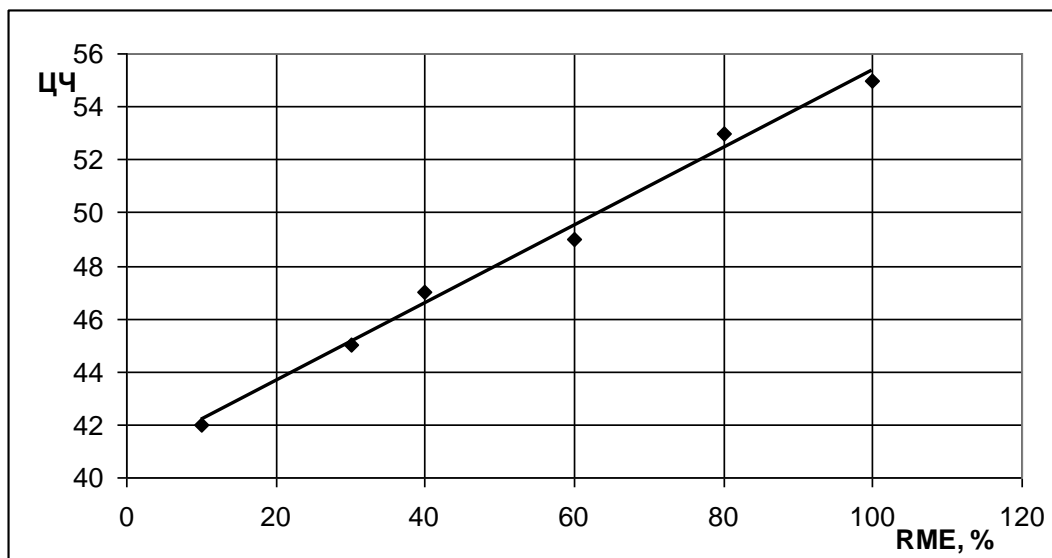
У розрахунку ефективності застосування біодизеля, в результаті добавки до ДП і спалювання на ДВЗ, необхідною умовою має бути забезпечення однакових ЦЧ паливних сумішей у порівнянні з товарним ДП. За результатами дослідження, на рис. 2 показано графічну залежність зміни ЦЧ ДП від процентного масового вмісту в ньому RME.

Дана залежність описується наступним аналітичним рівнянням:

$$C_{\text{ч}} = 0,1464 \cdot (\% \text{ RME}) + 40,693, \tag{7}$$

де  $C_{\text{ч}}$  – цетанове число суміші RME і ДП. Коефіцієнт кореляції для аналітичної залежності (7) рівний  $R^2=0,99$ .

Залежність приросту  $\Delta$ ЦЧ ДП (визначеного з рис. 2) від процентного вмісту в ньому RME зображена на рис. 3.



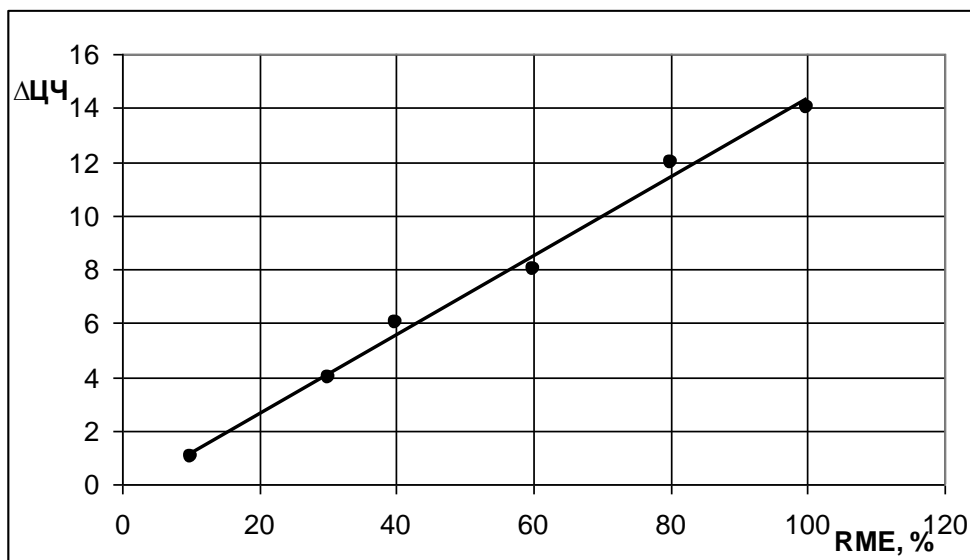
**Рис. 2. Графік залежності зміни цетанового числа паливних сумішей від відсоткового масового вмісту в них RME**

Аналітично залежність описується поліномом наступного виду:

$$\Delta\text{ЦЧ} = 0,1464 \cdot (\% \text{RME}) - 0,3072 \quad (8)$$

Коефіцієнт кореляції приведенного рівняння рівний  $R^2=0,99$ .

Як видно з рис. 1, із зменшенням ЦЧ ДП роздрібна ціна його зменшується, для досягнення ефективності використання паливних сумішей ДП і RME, спочатку з рівняння (8) визначають зміну  $\Delta$ ЦЧ в залежності від процентного вмісту RME в паливних сумішах, а далі з рівняння (5) – цетанове число ДП, що доцільно використовувати в паливних сумішах.



**Рис. 3. Графік залежності приросту  $\Delta$ ЦЧ паливних сумішей від відсоткового масового вмісту в них RME**

Отже з рівняння (4) – одержуємо ціну ДП, що використовується в паливних сумішах.

Для оцінки ефективності використання паливних сумішей ДП і RME, були розраховані залежності зміни ціни ДП ( $C_{ДП}$ ), що використовують згідно методики [24] в залежності від процентного вмісту RME (рис. 4-5).

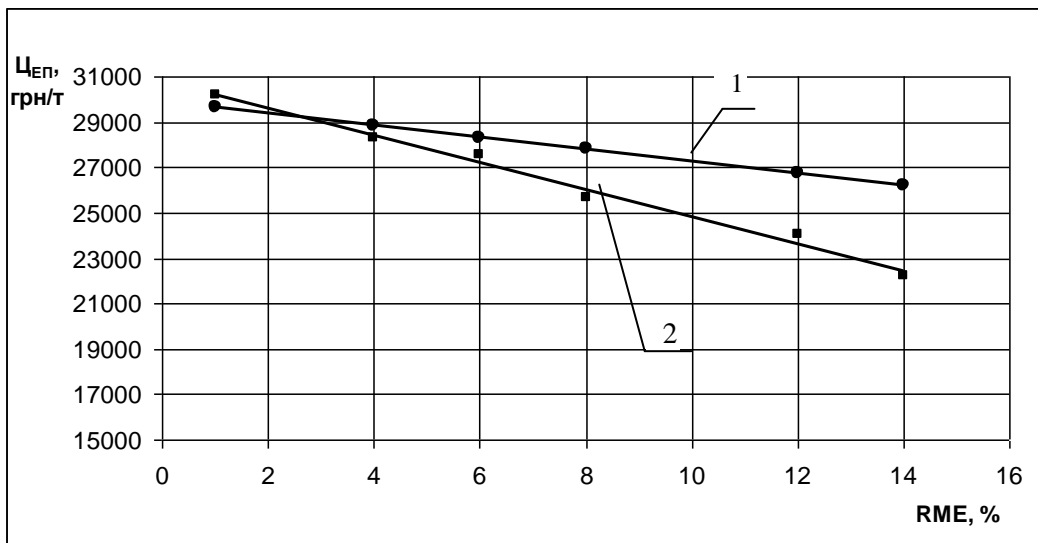


Рис. 4. Залежність зміни ціни ДП використаного в паливних сумішах від відсоткового вмісту в них RME (1-суміші ДП (ЦЧ-41) та RME; 2-суміші ДП (ЦЧ-45) та RME)

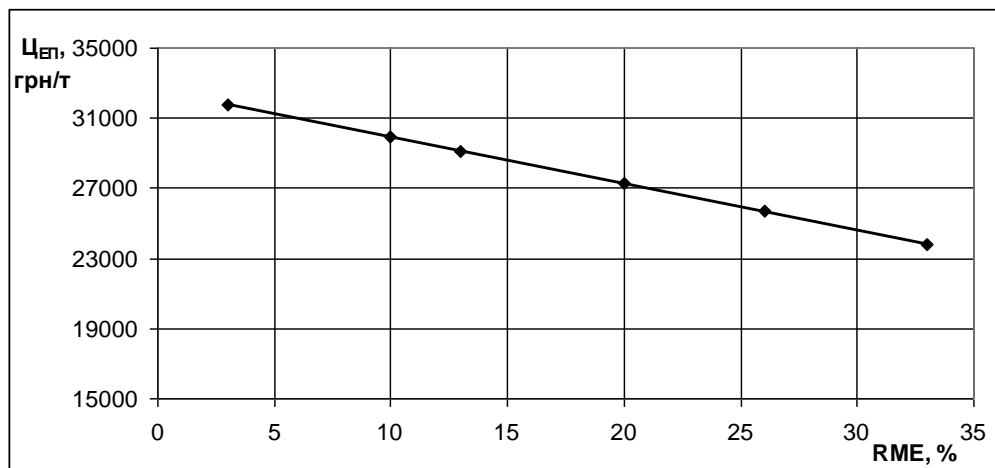


Рис. 5. Залежність зміни ціни ДП (ЦЧ-51) використаного в паливних сумішах від відсоткового вмісту в них RME

Залежності (4, 5) описується відповідно наступним аналітичним рівняння:

$$C_{ДП} = -596,63 \cdot (\% RME) + 30807 . \quad (9)$$

$$C_{ДП} = -266,53 \cdot (\% RME) + 29931 . \quad (10)$$

$$C_{ДП} = -266,53 \cdot (\% RME) + 32596 . \quad (11)$$

Коефіцієнт кореляції для рівнянь (9-11) рівний  $R^2=0,99$ .

Застосування різних паливних сумішей забезпечується додавкою до ДП різної кількості RME, а тому ефективність застосування різних паливних сумішей буде різною. При кожній добавці біодизеля до палива було проведено розрахунок ефективності, за даними розрахунку побудовано графічні залежності її зміни від процентного вмісту в паливних сумішах RME (рис. 6, 7).

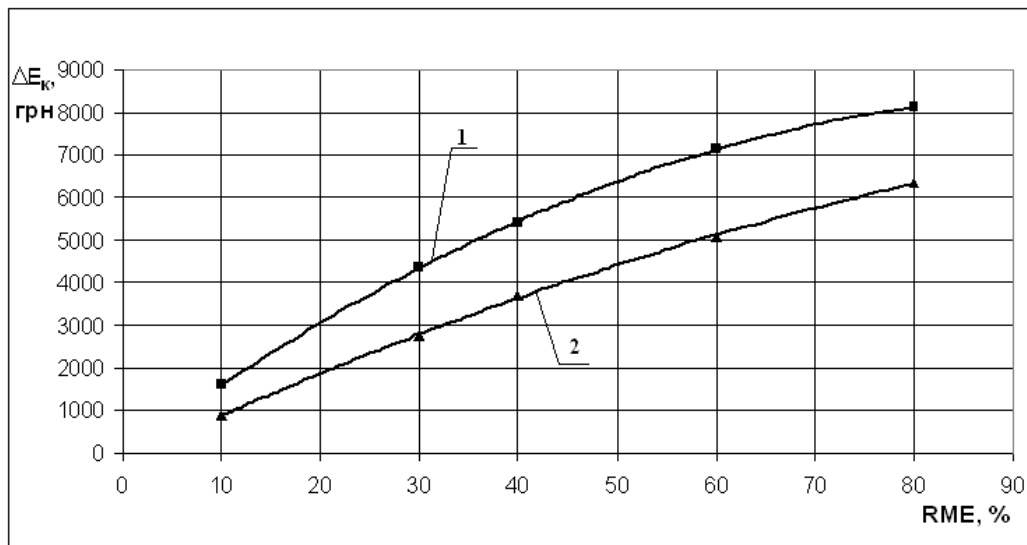
Одержані графічні залежності ефективності використання RME в ЕП описуються наступними рівняннями:

$$\Delta E_k = -0,8804 \cdot (\% RME)^2 + 172,5 \cdot (\% RME) - 45,869 , \quad (12)$$

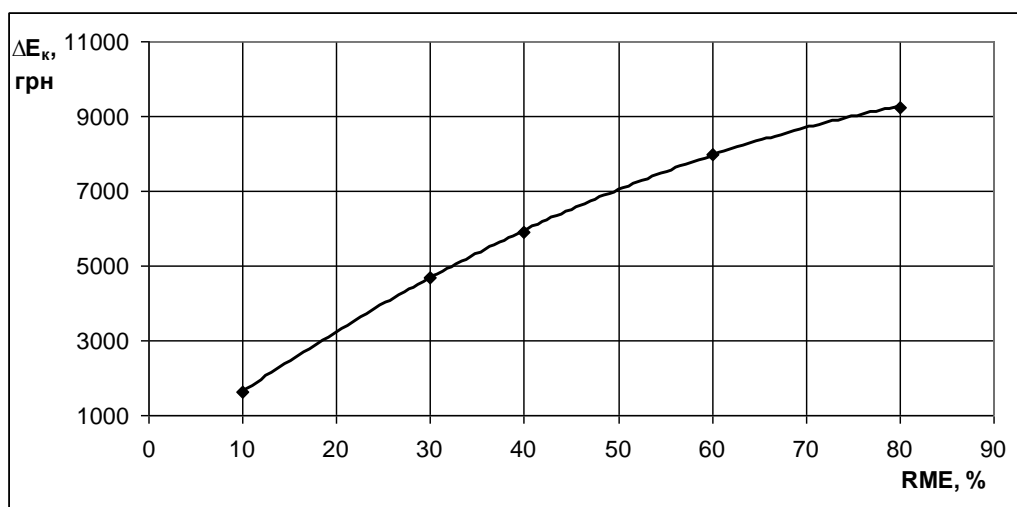
$$\Delta E_k = -0,3591 \cdot (\% RME)^2 + 110,08 \cdot (\% RME) - 191,01, \quad (13)$$

$$\Delta E_k = -0,8683 \cdot (\% RME)^2 + 187,26 \cdot (\% RME) - 169,07. \quad (14)$$

Коефіцієнт кореляції для рівнянь (12-14) рівний  $R^2=0,99$ .



**Рис. 6.** Залежність ефективності застосування еквівалентних палив від відсоткового масового вмісту в них RME (1-суміші ДП (ЦЧ-45) та RME; 2-суміші ДП (ЦЧ-41) та RME)



**Рис. 7.** Залежність ефективності застосування еквівалентних палив на базі ДП (ЦЧ-51) від відсоткового масового вмісту в них RME

**Висновки.** Отже, для прийнятих цін на ДП і RME та з проведених розрахунків видно, що із збільшенням процентного вмісту RME в паливних сумішах ДП і RME досягається збільшення ефективності їх застосування за рахунок використання в паливних сумішах ДП з низьким ЦЧ.

Тому при застосуванні добавок RME до товарних ДП з низьким ЦЧ в кількості до 100% масових часток можна досягнути зниження вартості ДП на кожній тоні до 7,5 тис. грн. Такий ефект, при використанні добавок RME до ДП вказує на перспективність даного напрямку використання RME та доцільність подальшого його дослідження.

#### Література

- 1 Колосюк Д.С. Автотракторные топлива и смазочные материалы / Д.С. Колосюк, А.В. Кузнецов. – К.: Высшая школа. – 1987. – 191 с.
- 2 Брей В.В. Біоетанол в Україні / В.В. Брей, І.В. Щуцький // Вісник НАН України. – 2016. - №



6. – с. 71-76.

3 DIN V 51606. Deutsches Institut für Normung e.V. (German Institute for Standardization).

4 Редзюк А.М. Проблема та перспективи використання рослинної олії як моторного палива / А.М. Редзюк, В.О. Рубцов, Ю.Ф. Гутаревич // Автошляховик України. – 1999. – №1. – с.4-6.

5 Широкомасштабные эксперименты по введению рапсового масла в дизельное топливо // Автомобильная промышленность США. – 1997. – №3. – с.5-8.

6 Испытания автобусов фирмы “Renault”: Экспресс-информ. Экологические проблемы на транспорте. – М.: ВИНТИ. – 1993. – № 10. – с.4-8.

7 Розробити обладнання для роботи дизельних двигунів на рослинних оліях: Звіт про науково-дослідну роботу. Інститут механізації та електрифікації сільського господарства; № ГР 019340322719. – Глеваха. – 1996. – 63 с.

8 Гутаревич Ю.Ф. К вопросу использования рапсового масла в качестве моторного топлива / Ю.Ф. Гутаревич, А.Т. Говорун, А.А. Корпач // Труды ТГАТА. Мелитополь. – 1998. – Т. 3, №2. – с. 60-64.

9 Гелетуха Г.Г. Обзор современных технологий получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом. Часть 1 / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – №3. – с. 3-11.

10 Гелетуха Г.Г. Современных технологий получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом. Часть 2 / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – №4. – с. 91-100.

11 Bridgwater A. V. The Status of Fast Pyrolysis of Biomass in Europe. Proc. of the 10th European Bioenergy Conference / A.V. Bridgwater. – Wurzburg, Germany, 8-11 June 1998. – CARMEN. – p. 268-271.

12 Bridgwater A.V. Fast pyrolysis for biomass / A.V. Bridgwater, G.V. Peacocke // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2000. – №4. – p. 1-73.

13 Ronghou L. Experimental research of corn stalk pyrolysis for liquid production in a fluidized bed reactor / L. Ronghou, N. Weisheng, Z. Chunmei. – Ibid. – p. 851-854.

14 Garcia-Perez M. The complex structure of bio-oils / M. Garcia-Perez, A. Chaala, H. Pakdel. – Ibid. – p. 725 -728.

15 Sipila K. Pyrolysis Oils for Power Plants and Boilers. Proc. of the 9th European Bioenergy Conference / K. Sipila, A. Oasmaa, V. Arpiainen, M. Westerholm. – Copenhagen. Denmark, 24 -27 June 1996. – Pergamon. – 1996. – Vol. 1, p. 302-307.

16 Nunoura T. The black gold from green waste project at the University of Hawaii. Proc. of the Second World Biomass Conference / T. Nunoura, M. Antal. – Rome, Italy, 10-14 May 2004. – ETA-Florence and WIP-Munich. – 2004. – p. 721-724.

17 Fantozi F. Micro scale slow-pyrolysis rotary kiln for syngas and char production from biomass and waste / F. Fantozi, U. Desideri. – Ibid. – p. 1102-1105.

18 Garcia C. Pyrolysis of meat and bone meal. Fixed bed reactor studies / C. Garcia, M. Aytton, J. Sanchez. – Ibid. – p. 837-840.

19 Conti L. Proposal of a waste treatment plant in Managua city / L. Conti, S. Mascia, O. de Valle, M. Stadthagen. – Ibid. – p. 2450-2452.

20 Bridgwater A.V. Biomass Pyrolysis Technologies / A.V. Bridgwater // Proc. of the 5th Europ. Bioenergy Conf., Lisbon, Portugal. 9-13 Oct., 1989. – Elsevier. – 1989. – Vol. 2. – p. 489-496.

21 Churin E. Catalytic Upgrading of Pyrolysis Oils / E. Churin, P. Grange, B. Delmon. – Ibid. – p. 616-620.

22 Williams P. Aromatic Hydrocarbons in the Catalytic Upgrading of Biomass Pyrolysis Oils in the Presence of Steam / P. Williams, N. Nugranad // Proc. of the 10th Europ. Bioenergy Conf., Wurzburg, Germany, 8-11 June. 1998. – CARMEN. – 1998. – P. 1589 - 1592.

23 Steven G. Flash Pyrolysis Oil as Light Fuel Oil Replacement / G. Steven // Bioenergia. – 1996. – №2. – p. 34-35.

24 Гутаревич Ю.Ф., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мороз О.Г. Оцінка ефективності додавання спиртових сполук до бензину. Автошляховик України. – 2004. – № 3. – С. 17-19.

© В. М. Мельник,  
Ф. В. Козак

*Надійшла в редакцію 28 лютого 2018 р.  
Рекомендував до друку  
докт. техн. наук Я. М. Семчук*