

С. А. БУРЛАКА, В. В. ЯВДИК, А. П. ЄЛЕНИЧ  
Вінницький національний аграрний університет

## МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА СПОСОБИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПАЛИВ З ВІДНОВЛЮВАНИХ РЕСУРСІВ НА РОБОТУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

У даній статті розглядаються основні напрямки досліджень та результати, отримані в ході використання біопалива з ріпакової олії в дизельних двигунах. Наводяться дані щодо впливу різних способів поліпшення економічності. Розглянуто способи інтенсифікації згоряння під час застосування чистої ріпакової олії в якості палива. Наведено результати оптичного дослідження паливного факела. Проведені експериментальні роботи, що дозволяють оцінити особливості дизельного двигуна під час використання біопалива – контрольні показники роботи двигуна, тиск та параметри подачі палива (тиск і підйом голки розпилювача форсунки), а також показники шкідливих викидів (окислів азоту  $NO_x$ , окису вуглецю  $CO$  і твердих частинок  $C$ ). У процесі аналізу були досліджені способи використання біопалива. Також проведені спеціальні дослідження, що дозволяють оцінити процеси, що відбуваються при роботі на паливах з іншими фізико-хімічними властивостями. Найбільш простим способом є використання чистої ріпакової олії в якості палива. В ході досліджень реєструвалися головним чином кількість палива, що впорскується в камеру згоряння та його теплотворна здатність. Були приведені в норму штатні регулювання та комплектація двигуна для його роботи на стандартному нафтовому дизпаливі. В ході проведення експерименту і обробки отриманих даних, на підставі яких проведено порівняльний аналіз робочого процесу двигуна з використанням двох видів палива.

**Ключові слова:** біопаливо, дизельний двигун, ефективні показники, екологічність, робочий процес, сумішоутворення.

S. A., BURLAKA V. V. YAVDYK, A. P. YELENICH  
Vinnytsia National Agrarian University

## METHODS OF RESEARCH AND METHOD OF EVALUATION OF FUEL EFFECTS OF RESTORED RESOURCES ON THE WORK OF DIESEL ENGINES

This article discusses the main areas of research and the results obtained using biofuels from rapeseed oil in diesel engines. Provides data on the impact of various ways to improve efficiency. The methods of intensification of combustion with the use of pure rapeseed oil as fuel are considered. The results of the optical research of the fuel torch are given. Experimental work has been carried out to evaluate the features of a diesel engine using biofuels - engine performance indicators, pressure and fuel supply parameters (pressure and lift of the nozzle atomizer needle), as well as indicators of harmful emissions (nitrogen oxides  $NO_x$ , carbon monoxide  $CO$  and particulate matter  $C$ ). In the process of analysis, the above-mentioned methods of using biofuels were investigated. Also, special studies have been carried out to evaluate the processes occurring when working on fuels with other physicochemical properties. The easiest way is to use pure rapeseed oil as fuel. In the course of the research, the amount of fuel injected into the combustion chamber and its calorific value was recorded. Normal standard adjustments and complete sets of the engine for its work on the standard petrol diesel were standardized. During the experiment and processing, the data were obtained, on the basis of which a comparative analysis of the working process of the engine using two types of fuel was carried out.

**Key words:** biofuel, diesel engine, effective indicators, ecological compatibility, working process, mix formation.

### Вступ

В останні роки тема виробництва палива з поновлюваних джерел, в першу чергу з рослинної, придбала популярність та актуальність, що не викликає сумнівів. Це особливо характерно для тих країн, економіка яких залежна від імпорту вуглеводнів та продуктів їх переробки. Саме в цих регіонах ідея про те, що біоетанол і біодизель можуть потіснити традиційні види палив, вельми популярна. Тому на міждержавному рівні прийнято рішення, починаючи з 2009 року, що всі країни ЄС зобов'язані випускати і споживати біодизельне паливо. Уряди цих країн надають виробникам біопалива різні пільги [1, 2]. Річні темпи виробництва біопалива складають 25...35%. Єврокомісія пропонує до 2020 р. подвоїти частку біопалива в структурі споживання бензину на території країн ЄС до 10%.

Останнім часом на перший план вийшли аргументи про необхідність зменшення економічної залежності від імпорту нафти та газу за допомогою розгортання широкомасштабного виробництва біопалива.

Підхід до розвитку біопаливної енергетики для країн ЄС та України кардинально різняться, адже ЄС отримали державну підтримку, що дало потужний імпульс їхньому розвитку.

На сьогоднішній день виготовлення біопалива ведеться в 28 країнах, серед яких Японія, Німеччина та Франція є найбільшими світовими виробниками. Європейським лідером з виробництва біодизеля є Німеччина. Виробництво і споживання біопалива в країнах Євросоюзу регламентовано законодавством. Директива 2003/30/ЄС Європейського парламенту та Ради ЄС від 8 травня 2003 року щодо ширшого використання біологічного та інших видів палива з відновлюваної сировини чітко визначає мінімальний рівень біопалива на заправках [3].

Перспектива використання біопалива в якості добавок до автомобільного палива в Україні поки туманна. За чинними вимогами їх вміст не повинен перевищувати для етанолу більше 5%, для метанолу – більше 3% [4].

В результаті вищенаведених причин для країн ЄС, США характерно створення великих і середніх підприємств для виробництва біопалива, підкріплене законодавчою підтримкою держави та відповідними фінансовими ресурсами як для виробника, так і для споживача біопалива.

В Україні проблеми виробництва біопалива перекладаються на адміністрації регіонів і місцевих виробників. Тому немає відповідної законодавчої бази, а залучені фінанси незначні. В результаті створюються підприємства або малопотужні підприємства з недосконалою технологією для забезпечення одного чи декількох господарств орієнтованих для виробництва біопалива на експорт. Тому для країн ЄС, США характерно, перш за все, виробництво біодизеля та біоетанолу, які в подальшому передаються на нафтопереробні підприємства, де з їх допомогою виробляють товарні палива для двигунів з іскровим запалюванням – E10, E15, E85; для дизельних двигунів – B5, B10, B20 [5].

Для українських підприємств головні завдання – зменшення вартості палив та зниження залежності від поставок нафтопродуктів. У зв'язку з цим вибираються інші технології отримання готових продуктів з використанням біопалива. Причому виробництво та використання біоетанолу в Україні обкладається великими акцизними зборами, тому його використання обмежена дослідницькими цілями, а будуються підприємства, орієнтовані на експорт.

Найбільш поширеним типом двигунів сільськогосподарського призначення є дизельні двигуни (транспортні, тракторні, комбайнові, технологічні тощо). Відповідно, в більшій мірі, розвивається отримання біопалива для дизельних двигунів.

Для кліматичних умов України найбільш перспективною з економічної точки зору є застосування ріпакової олії. При середній врожайності ріпаку 18 центнерів з гектара та отриманні з 1 т насіння близько 340 кг олії з 1 га можна отримати 600 кг біодизеля, що дозволить обробити 10 га ріллі [6].

Фермери та сільськогосподарські організації виявляють особливий інтерес до застосування чистої ріпакової олії в якості палива, оскільки собівартість отримання ріпакової олії в 2-3 рази менше вартості нафтового палива, однак відмінності фізико-хімічних показників створюють ряд проблем під час експлуатації двигуна.

Фізико-хімічні характеристики ріпакової олії та дизельного палива наведені в таблиці 1. Вона має більш високу кінематичну в'язкість в порівнянні з дизельним паливом (ДП), яка становить 30,7 мм<sup>2</sup>/с при 40 °С (для ДП – від 3 до 6 мм<sup>2</sup>/с при 20 °С). Внаслідок цього при низьких температурах виникають проблеми, пов'язані з подачею рапсової олії до ПНВТ [7].

### Мета і задачі роботи

Метою наукових досліджень була модифікація конструктивних заходів та рекомендацій для застосовування біопалива з максимальною ефективністю.

### Аналіз останніх досліджень

Ріпакова олія – продукт широкого використання в натуральному вигляді на харчові цілі, а для технічних цілей – від використання в якості вихідного матеріалу для хімічного синтезу – для застосування у вигляді мастильних засобів та перспективного виду біопалива для дизельних двигунів. Традиційна технологія виробництва біодизеля заснована на обробці рослинних олій (ріпакової, соєвої, соняшникової тощо) спиртами в присутності лужних каталізаторів. Продуктами реакції є ефіри жирних кислот (власне біодизель) та гліцерин [8, 9].

На даний час в Україні та за кордоном крім застосування чистого біодизельного палива розглядаються практичні аспекти використання в дизельних двигунах біопалива з рослинної сировини наступних видів [10]:

- Натуральна ріпакова олія (в чистому вигляді). Дослідження показали, що внаслідок відмінності фізико-хімічних характеристик в порівнянні з нафтовими паливами вона має погіршені властивості, тому для її використання необхідне конструктивне удосконалення дизельного двигуна.

- Біопаливо з суміші ріпакової олії з дизельним паливом в різних пропорціях. Даний спосіб найменш витратний з економічної точки зору, дозволяє використовувати біопаливо, обходячись тільки регулюванням двигуна. Однак даний спосіб погіршує економічні та екологічні характеристики двигуна.

- Застосування чистого біодизеля, а також різних сумішей на основі нафтового дизельного палива, рапсової олії, біодизеля та біоетанолу. Даний спосіб дозволяє отримати задовільні економічні та екологічні показники роботи стандартного дизельного двигуна. До недоліків відноситься підвищена вартість отримання даного виду палива.

Кожна група з представлених способів має свої переваги і недоліки, які необхідно враховувати під час вибору енергетичної стратегії конкретного регіону, враховуючи і те, що кращих результатів можна досягти тільки при комплексному підході до вирішення енергетичної проблеми, використовуючи всі можливі ресурси, які є рентабельними.

### Виклад основного матеріалу

Для оцінки теплотворної здатності палива використовують нижчу теплоту згоряння, яка для рапсової олії складає 37000 кДж/кг, тоді як для дизельного палива цей показник дорівнює 42500 кДж/кг. Пояснюється це вмістом в олії 11% кисню, який практично повністю відсутній в ДП [11]. Внаслідок цього відбувається зниження потужності через зменшення теплового змісту циклової порції, яка частково компенсується більшою щільністю олії по відношенню до традиційного палива.

**Фізико-хімічні показники палив [12]**

| Показники                                  | Дизельне паливо | Ріпакова олія |
|--|-----------------|---------------|
| Цетанове число                             | 45              | 40            |
| Фракційний склад:                          |                 |               |
| 10% переганяється, при °С                  | 197             | 311           |
| 50% переганяється, при °С                  | 245             | 329           |
| 90% переганяється, при °С                  | 328             | 341           |
| Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с; |                 |               |
| при 20 °С                                  |                 | 76,0          |
| при 60 °С                                  | 4,58            | 19,7          |
| при 100 °С                                 |                 | 8,04          |
| Температура застигання, °С                 | -10             | -23           |
| Густина, кг/м <sup>3</sup> при 20 °С       | 833,2           | 917,4         |
| Температура спалаху, °С                    | 40              | Більше 100    |
| Нижча теплота згорання, МДж / кг           | 42,7            | 37            |

Зі збільшенням густини палива відбувається більш ранній початок подачі палива, а при підвищеній в'язкості збільшується тривалість впорскування, зменшується витік палива через зазори, що призводить до збільшення циклової порції палива [13]. Ця різниця буде вищою при підвищенні частоти обертання колінчастого валу двигуна. В'язкість та щільність палива також мають значний вплив на процеси розпилення та сумішоутворення. Чим вища в'язкість та щільність, тим більш дисперсні виходять краплі при розпилюванні і тим більш далекобійним буде струмінь палива. При цьому погіршується якість розпилення та випаровування, наслідком чого є неповне згорання та утворення нагару. На першому етапі досліджень не проводилося жодних оптимізаційних заходів для роботи двигуна на ріпаковій олії. Отримані дані за економічністю та шкідливими викидами наведені на рисунках 1 і 2.

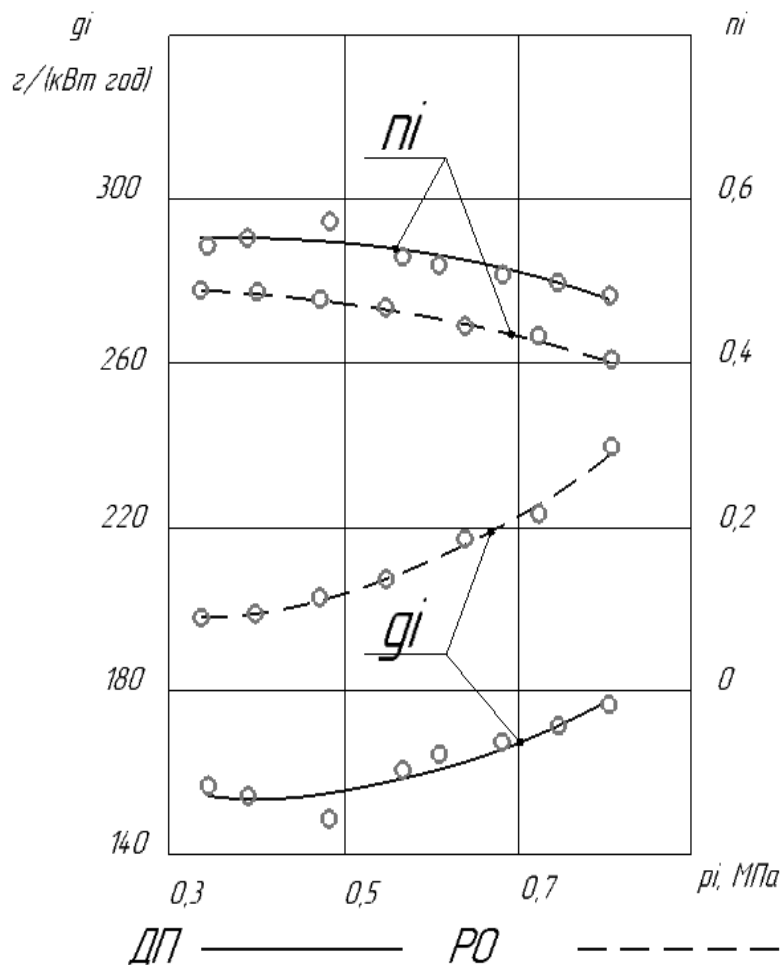


Рис. 1. Параметри економічності роботи двигуна при роботі на різних видах палива

При роботі на звичайному дизельному двигуні отримані наступні результати:

- робочий процес на ріпаковій олії має нижчі економічні показники через більшу тривалість

процесу згоряння;

- для ріпакової олії поліпшуються екологічні показники: зменшується вміст твердих частинок С та оксидів азоту NOx, збільшуються викиди оксиду вуглецю CO.

За результатами досліджень був зроблений висновок про необхідність покращення показників робочого процесу.

Для поліпшення показників необхідне забезпечення підготовки палива; забезпечення необхідних параметрів подачі палива для здійснення ефективного сумішоутворення; організація процесу згоряння.

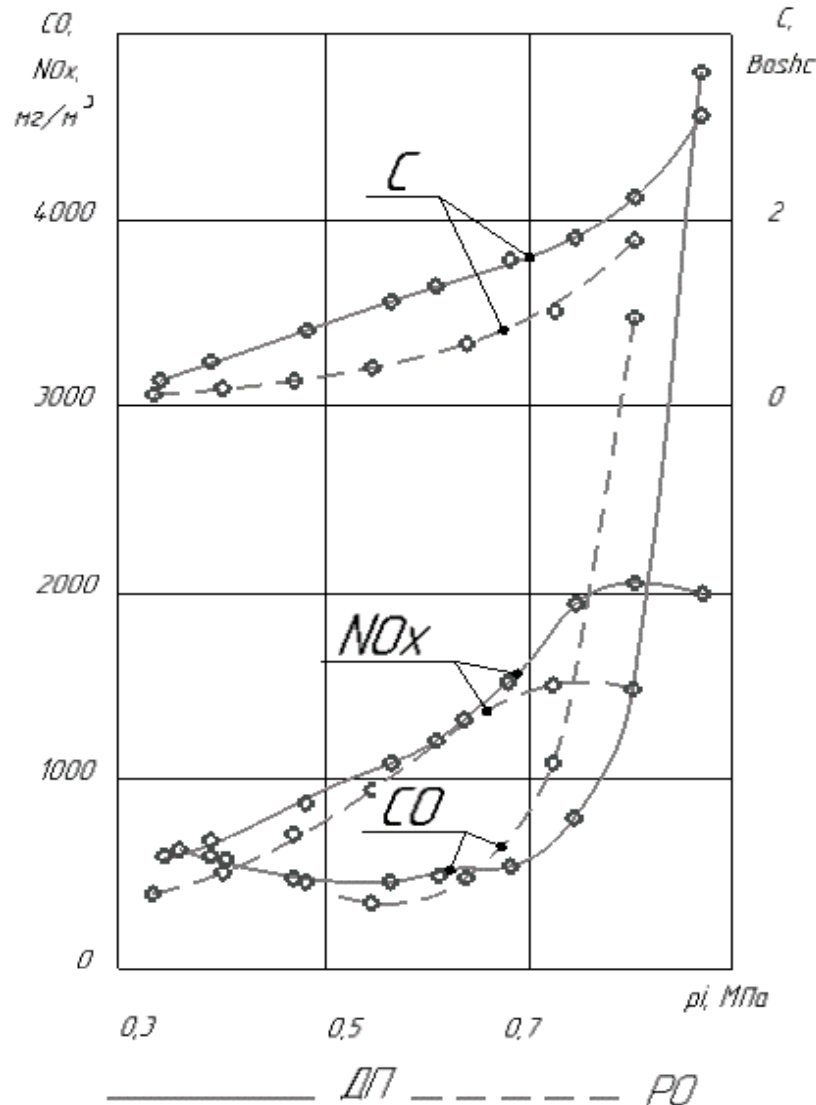


Рис. 2. Склад відпрацьованих газів

На основі аналізу отриманих даних було вирішено оптимізацію проводити в наступних напрямках:

- скорочення тривалості введення тепла в цикл;
- забезпечення оптимального моменту початку впорскування палива;
- досягнення більш високої дисперсності розпилювання палива;
- досягнення більш високої рівномірності розподілу концентрації частинок палива в поперечному перерізі факела за обсягом камери згоряння двигуна;
- зниження дальності паливного факела.

Для досягнення цих цілей були проведені дослідження впливу кута випередження впорскування палива; температури палива на вході в паливний насос високого тиску; тиску початку впорскування палива; ефективного прохідного перерізу розпилювача.

Пріоритетним напрямком в подальших дослідженнях є поліпшення економічних та екологічних показників. Для дослідження розвитку паливного факела були проведені спеціальні дослідження. Даний етап досліджень проводиться з використанням комп'ютерного обладнання із застосуванням програмного комплексу DIESEL-RK. Отримані знімки піддавалися обробці: проводилися розрахунки зміни геометричних параметрів паливного факела: кутів розкриття, швидкості поширення фронтальної частини факела, крім того проводилася порівняльна оцінка факелів ріпакової олії та дизпалива за рівномірністю розподілу крапель в поперечному перерізі факела.

На рисунку 3 наведені оброблені для порівняльного аналізу знімки паливних факелів ріпакової олії та нафтового дизпалива. Аналізом подібних знімків були отримані та математично описані закономірності розвитку паливних факелів ріпакової олії та дизельного палива. За результатами обробки даних було встановлено:

- паливний факел ріпакової олії має менший кут розкриття, різниця, в залежності від розміру порівнюваних сопел, становить 40–100%;
- процес впорскування ріпакової олії починається на 3-3,5 градуса пізніше повороту колінчастого валу, при однаковому значенні підйому голки форсунки;
- факел дизпалива має більш високу швидкість, ніж факел ріпакової олії в початкові етапи часу. З віддаленням від сопла фронт факела дизпалива швидше втрачає швидкість, тоді як фронт факела ріпакової олії продовжує переміщення з приблизно постійною швидкістю в дослідженому діапазоні часу;
- дальнобійність факела ріпакової олії набагато більше;
- факел ріпакової олії володіє вищою нерівномірністю розподілу концентрації крапель палива за обсягом.

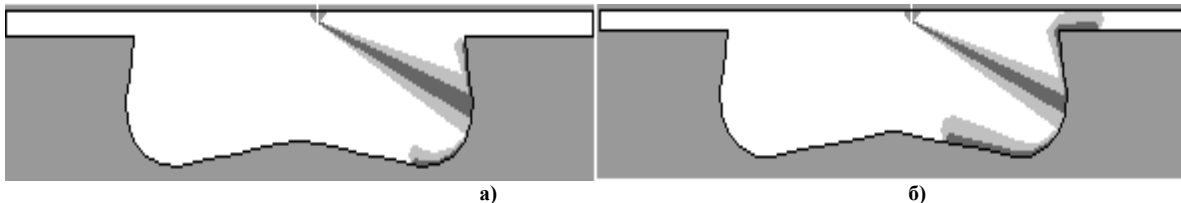


Рис. 3. Порівняльні знімки факелів дизпалива (а) і ріпакової олії (б) на фазі активного впорскування змодельовані за допомогою програмного комплексу DIESEL-RK

По завершенню цього етапу досліджень були намічені роботи за наступними напрямками: зміни конструкції розпилювача форсунки для чого проводилися порівняльні випробування трьох типів розпилювачів: застосування змішувача палив; модернізація системи живлення.

Далі наведені результати досліджень економічності в залежності від раніше обраних технологічних рішень. На рисунку 4 представлені графіки зміни показників економічності роботи двигуна в залежності від значення кута випередження впорскування палива при роботі на чистій ріпаковій олії. Оптимальним кутом випередження впорскування палива, при роботі двигуна на олії, можна вважати кут 32-33 градуси до ВМТ, що на 2-3 градуси раніше, ніж для стандартного дизпалива нафтового походження.

Для дослідження впливу температури ріпакової олії на робочий процес двигуна змішувач був обладнаний пристроєм підігріву палива на лінії низького тиску та приладами контролю температури в корпусі паливного насоса високого тиску (ПНВТ). Паливо піддавалося нагріванню в діапазоні від 40 до 95 °С.

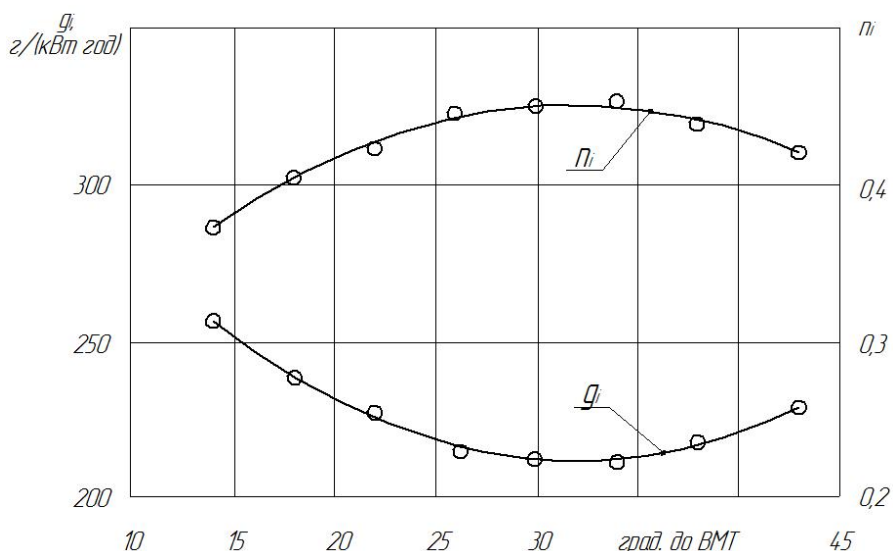


Рис. 4. Зміна параметрів економічності в залежності від кута випередження впорскування палива

На рис. 5 представлені дані дослідження впливу ступеня підігріву ріпакової олії на показники економічності роботи двигуна.

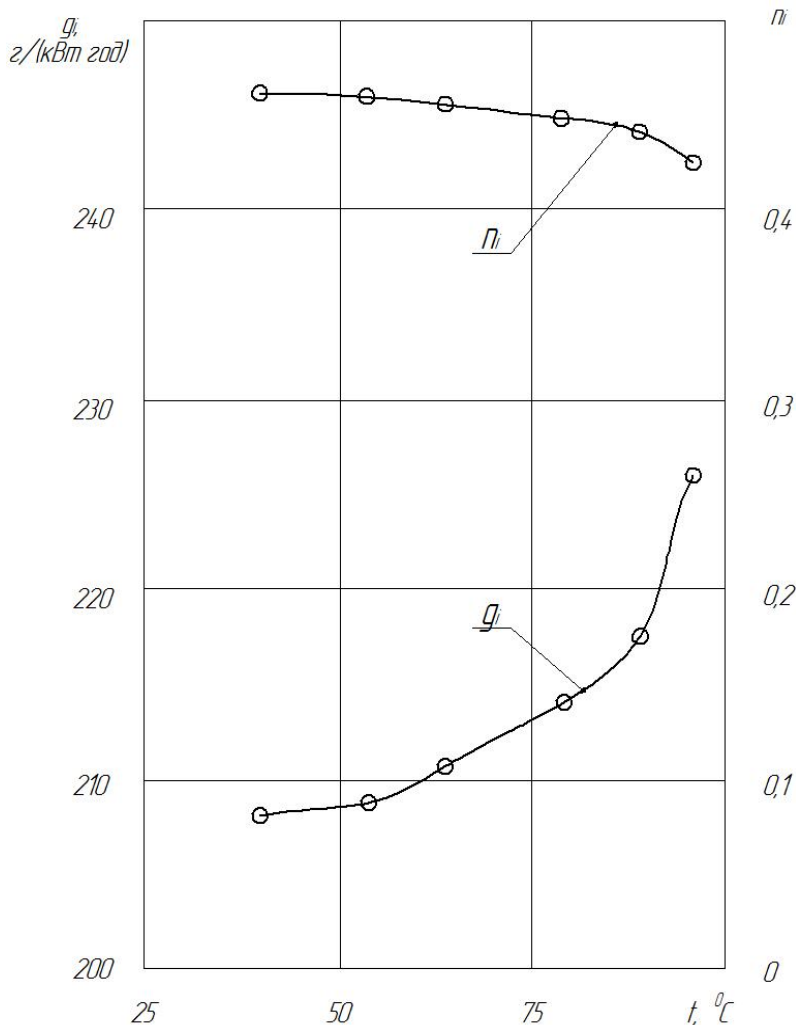


Рис. 5. Зміна показників економічності залежно від температури палива на вході в ПНВТ на режимі 1750 хв<sup>-1</sup>

Виходячи з даних проведеного дослідження, можна зробити наступний практичний висновок: для організації роботи двигуна на чистій ріпаковій олії необхідно організувати підігрів палива для зниження його в'язкості та забезпечення вільного руху по трубопроводу низького тиску, особливо, через паливний фільтр. При цьому підігрів повинен бути в районі 40 °С, тому що більш низька температура призводить до значних гідравлічних втрат, а значне збільшення температури обумовлює погіршення економічності дизеля. Для форсунок номінальним значенням є тиск 17,5 МПа [14]. В ході випробувань шляхом зміни налаштування форсунки тиск змінювали в діапазоні від 15 до 22,5 МПа (рис. 6).

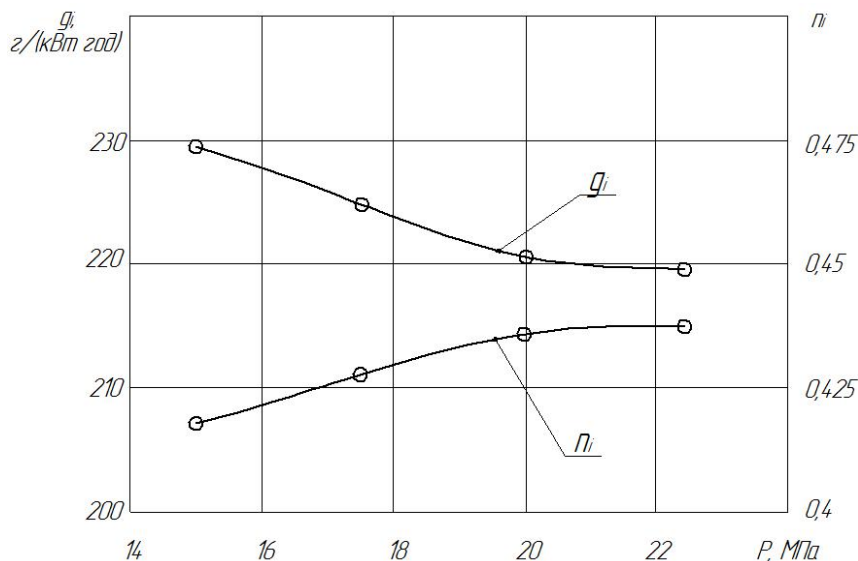


Рис. 6. Вплив тиску початку впорскування палива на показники економічності

З проведеного дослідження слідує, що недоцільно знижувати тиск початку впорскування нижче 17 МПа, тому що це призводить до істотного погіршення економічності. Підвищення тиску веде до невеликого поліпшення економічності роботи двигуна та зниження токсичності відпрацьованих газів, що дозволяє зробити висновок про доцільність його збільшення, але до меж допустимих паливним насосом даної конструкції, через зростання навантаження на деталі ПНВТ. Застосування систем подачі палива з підвищеною енергією впорскування, при використанні ріпакової олії, має позитивно позначитися на техніко-економічних параметрах двигуна, тому найбільш перспективним є використання систем Common Rail або індивідуальних насос-форсунок з тиском уприскування до 250 МПа. Одним із способів зниження впливу в'язкості на параметри подачі палива, є регулювання характеристик розпилювальних отворів форсунки. Для цього використовують розпилювачі зі збільшеним ефективним прохідним перетином ( $\mu f$ ). В ході досліджень використовувалися розпилювачі з  $\mu f = 0,237 \text{ мм}^2$  і  $\mu f = 0,313 \text{ мм}^2$ . Виявлено, що в області малих навантажень розпилювачі з різним ефективним прохідним перетином забезпечували однакові показники економічності (рис. 7), але в міру збільшення навантаження вище середнього розпилювачі з великим ефективним перерізом забезпечують найкращі показники економічності дизеля.

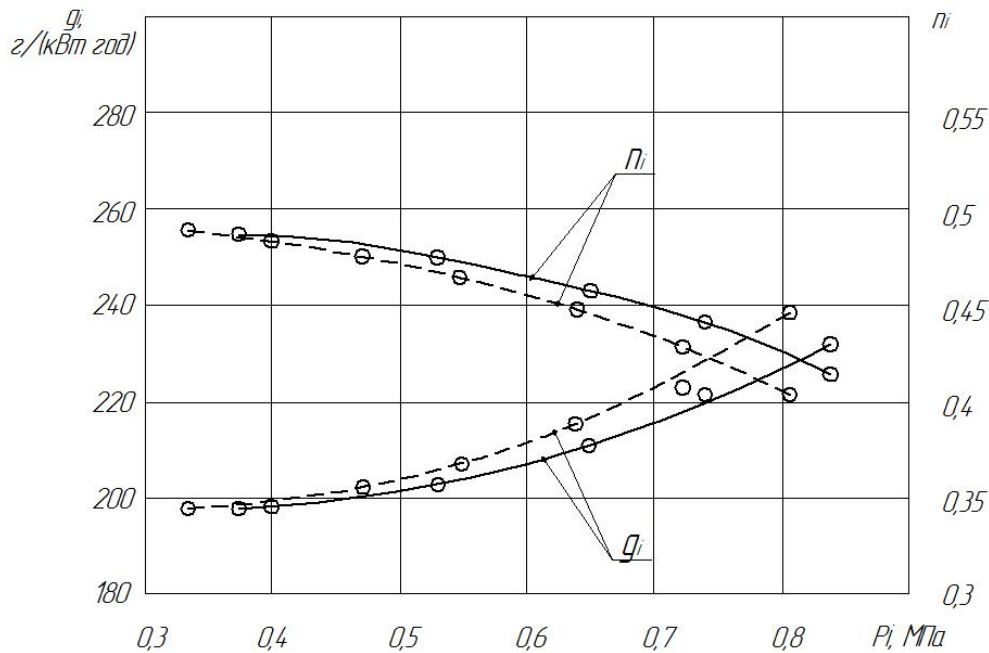


Рис. 7. Вплив ефективного прохідного перерізу розпилювача на показники економічності двигуна:  
 ----- розпилювач з  $\mu f=0,237 \text{ мм}^2$ ; \_\_\_\_\_ розпилювач з  $\mu f=0,313 \text{ мм}^2$

Мікро- та макроструктура паливо-повітряної суміші всередині циліндра двигуна визначається дисперсністю палива. Саме від цього залежить процес займання, повнота та своєчасність згоряння. Рівномірність розподілу палива в камері згоряння залежить від напрямку паливних струменів розпилювача форсунки. В ході проектування паливної апаратури необхідно враховувати геометрію камери згоряння та властивості палива, які визначають кількість та розмір соплових отворів. На рисунку 8 представлені зразки результатів оптичного дослідження різних конструкцій розпилювачів на номінальному режимі на однаковій (за часом) фазі активного впорскування. За результатами аналізу слідує, що застосування розпилювачів спеціального типу призводить до поліпшення параметрів роботи двигуна.

Фізична сторона процесу пов'язана з поліпшенням якості сумішоутворення за рахунок більш тонкого розпилювання палива; додаткового дроблення крапель палива, завдяки ефекту «мікробибуху»; зниження локальної концентрації палива всередині паливного струменя. Хімічна сторона процесу пов'язана з каталітичним впливом водяної пари на процес згоряння:

- Настає внаслідок термічної дисоціації ОН, що прискорює процес горіння вуглеводневого палива.
- Прискорюється процес згоряння СО. В процесі випробувань були досліджені емульсії з 10%, 20% і 30% вмістом води. В результаті попередніх випробувань було встановлено, що найбільший економічний ефект при 20% води в емульсії.

За результатами випробувань було виявлено, що відбувається поліпшення економічності роботи двигуна. Індикаторний ККД збільшився до відповідного рівня роботи двигуна на нафтовому дизпаливі, а питома індикаторна витрата палива відрізняється лише на величину пропорційну різниці нижчої теплоти згоряння рапсової олії та нафтового палива.

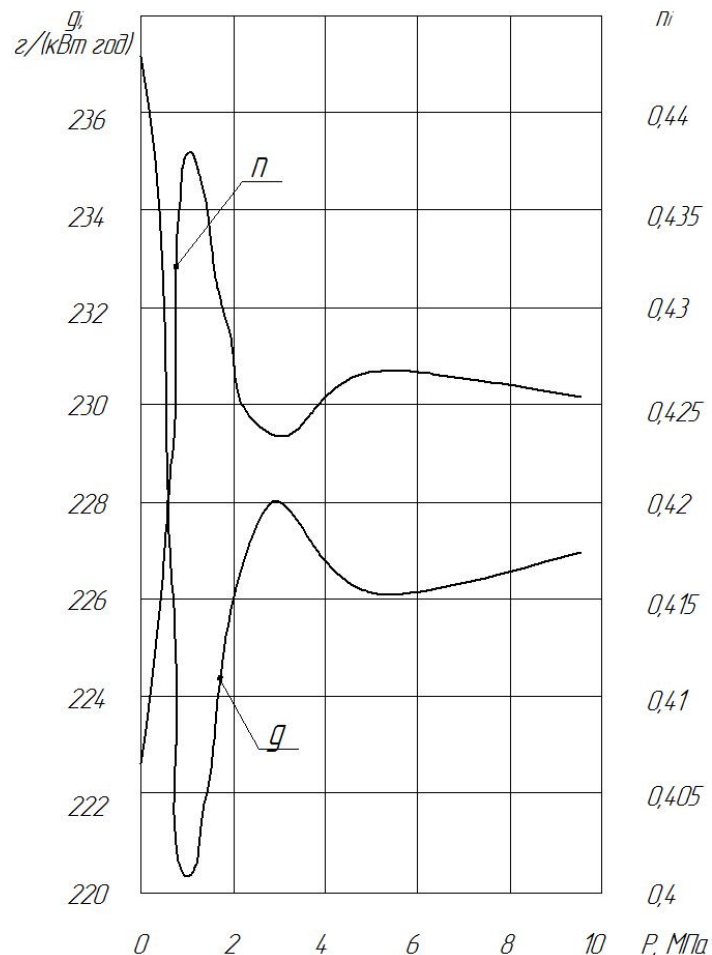


Рис. 8. Показники економічності при роботі двигуна на ріпаковій олії залежно від тиску повітря

Використання сумішей палив на основі ріпакової олії та дизельного палива дозволяє досить просто виготовити паливо в умовах господарства та передбачає використання даного виду палива без зміни конструкції двигуна, що є істотною перевагою та сприяє переходу на даний вид альтернативного палива.

Були досліджені наступні палива:

- 100% ріпакової олії (РО);
- 100% дизельного палива (ДП);
- 25% ДП + 75% РО;
- 50% ДП + 50% РО;
- 75% ДП + 25% РО.

Для сумішевих палив із збільшенням частки ріпакової олії спостерігається збільшення питомої індикаторної витрати палива в порівнянні з роботою на дизпаливі.

У міру збільшення частки ріпакової олії максимальний тиск циклу  $P_z$  знижується, зате значно збільшується максимальний тиск у паливній магістралі  $P_f$ , що призводить до збільшення динамічних навантажень, відповідно, зменшення ресурсу основних деталей та вузлів паливної апаратури. За результатами випробувань можна рекомендувати суміш 75% ріпакової олії і 25% дизельного палива, як найбільш оптимальну при експлуатації за сукупністю потужнісних, економічних та екологічних показників.

#### Висновки

Проведені дослідження дозволили порівняти показники робочого процесу дизеля для відпрацювання різних технологій отримання біопалива. Також вони дозволили оцінити економічні та екологічні параметри робочого процесу, можливості їх поліпшення за допомогою регулювальних та конструктивних заходів. Проводились роботи із застосуванням сумішевих палив на основі використання нафтового дизельного палива, ріпакової олії, біодизеля та його сумішей.

#### Література

1. Demirbas, A. Biodiesel: a realistic fuel alter-native for diesel engines. Springer-Verlag London Limited, 2008. 208 p.
2. The biodiesel handbook. AOCS Press, Champaign, Illinois, 2005. 303 p.
3. Биотопливо вместо солярки, выход из «нефтяного» тупика // Агро-Инфор. – 2006. – № 96.
4. Марченко А. П. Сравнительная оценка эффективности применения растительных топлив в



- дизельном двигателе / А. П. Марченко, А. Ф. Минак, И. А. Слабун // Двигатели внутреннего сгорания. – 2004. – № 1. – С. 46–51.
5. Гунько І. В. Система паливоподачі дизельного двигуна з електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші / І. В. Гунько, С. А. Бурлака, А. А. П'ясецький. // 2. – 2017. – №97. – С. 139–144.
6. Гунько І. В. Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу / І. В. Гунько, С. А. Бурлака, А. П. Єленич // 2. – 2018. – № 6. – С. 246–249.
7. Поляков А. П. Перевірка адекватності математичної моделі системи «двигун – система живлення сумішшю дизельного та біодизельного палив» / А. П. Поляков, О. О. Галушчак, Д. О. Галушчак. – 2018. – № 1. – С. 81–91.
8. Анісімов В. Ф. Дослідження впливу кута випередження подачі на експлуатаційні показники роботи дизеля при переведенні його на біодизельне паливо / В. Ф. Анісімов, Л. П. Серeda, В. Б. Рябошапка, А. А. П'ясецький // 20. – 2008. – № 2. – С. 101–106.
9. Семенов В. Г. Моделювання процесу згорання в тракторних і комбайнових дизелях, працюючих на різних видах палива за допомогою уточненої моделі і.і. вібе шляхом апроксимації експериментальних даних / В. Г. Семенов, В. П. Комаха, В. Б. Рябошапка. – 2015. – № 1. – С. 52–58.
10. Poliakov A. P. Technique of motor vehicle indices calculation while transition of its engine for operation at the mixture of diesel and biodiesel fuels / A. P. Poliakov, O. O. Galushchak, D. O. Galushchak. – 2015. – № 22. – С. 76–81.
11. Осетров О. О. Поліпшення техніко-економічних показників дизеля ЧН 12/14, що працює на біопаливах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» / О. О. Осетров. – Харків, 2015. – 20 с.
12. Шльончак А. І. Покращення економічних та екологічних показників транспортних засобів з дизелем шляхом використання сумішевих палив : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.22.20 / І. А. Шльончак ; Нац. трансп. ун-т. – К., 2013. – 20 с.
13. Поляков А.П. Дослідження впливу на техніко-економічні та екологічні показники дизеля переведення його на роботу на біодизельне паливо / А.П. Поляков, К.В. Нгаяхи Аббе, О.О. Галушчак, М.О. Бишко, Ю.В. Заверуха // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2012. – № 1. – С 61–69.
14. Васильев И.П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля : монография / И.П. Васильев. – Луганск : Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. – 240 с.

#### References

1. Demirbas, A. Biodiesel: A Realistic Fuel Alternator for Diesel Engines. Springer-Verlag London Limited, 2008. 208 p.
2. The biodiesel handbook. AOCS Press, Champaign, Illinois, 2005. 303 p.
3. Biofuel instead of diesel fuel, exit from the "oil" deadlock // Agro-Inform. - 2006. - No. 96.
4. Marchenko, A.P. Comparative assessment of the efficiency of plant fuels in a diesel engine / A. P. Marchenko, A. F. Minak, I. A. Slabun // Internal combustion engines. - 2004. - No. 1. - P. 46-51.
5. Gunko I.V. Fuel injection system of a diesel engine with electronic regulation of the composition of a metered fuel mixture / I.V. Gunko, S.A. Burlak, A. A. Pyasetsky // 2nd - 2017 - №97. - P. 139-144.
6. Gunko I.V. Evaluation of environmental friendliness of oil fuel and biofuels using the full life cycle methodology / I.V. Gunko, S.A. Burlak, A.P. Yelenich. // 2nd - 2018 - №6. - P. 246-249.
7. Polyakov A.P. Examination of the adequacy of the mathematical model of the system "engine - power system with a mixture of diesel and biodiesel fuels" / A.P. Polyakov, O. O. Halushchak, D.O. Halushchak. - 2018 - №1. - P. 81-91.
8. Investigation of the influence of the angle of advance on the performance of the diesel engine during its transfer to biodiesel fuel / V.F. Anisimov, L.P. Sereda, V.B. Ryaboshapka, A.A. Pyasetsky. // 20. - 2008. - No. 2 - P. 101-106.
9. Semenov V.G. Modeling of the combustion process in tractor and combine diesels working on different types of fuel with the help of a refined model i.i. Vibe by approximation of experimental data / V.G. Semenov, V.P. Komah, V. B. Ryaboshapka. - 2015 - № 1. - P. 52-58.
10. Poliakov A.R. Technique of motor vehicle indices calculation during the transition of its engine for operation in a mixture of diesel and biodiesel fuels / A. R. Poliakov, O. A. Galushchak, D. O. Galushchak. - 2015 - № 22. - P. 76-81.
11. Osetrov O. Improvement of technical and economic indicators of diesel engine CH 12/14, working on biofuels: author's abstract. dis for the sciences. Degree Candidate tech Sciences: special 05.05.03 "Motors and power plants" / O.O. Osetrov. - Kharkiv, 2015. - 20 p.
12. Shlonchak A.I. Improvement of economic and environmental indicators of vehicles with diesel using mixed fuels: author's abstract. dis for the sciences. Degree Candidate tech Sciences: 05.22.20 / A. I. Shlonchak; National trans un - K., 2013. - 20 c.
13. Investigation of influence on technical and economic and ecological indicators of a diesel engine on its work on biodiesel fuel / A.P. Polyakov, K.V. Ngaayahi Abba, O.O. Galushchak, M.O. Bishko, Yu.V. Zaveruha // Bulletin of the Donetsk Academy of Automobile Transport. - 2012. - No. 1. - From 61-69.
14. Vasiliev I.P. Effect of fuels of vegetable origin on ecological and economic indices of a diesel engine: monograph / I.P. Vasilyev - Lugansk: ed. VNU them. V. Dahl, 2009. - 240 p.

Рецензія/Peer review : 16.2.2019 р.

Надрукована/Printed : 11.4.2019 р.  
Рецензент: д. т. н., проф. Анісімов В. Ф.