

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КУТА РОЗПИЛЕННЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДВИГУНА ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

В. М. Мельник, Т. Й. Войцехівська, М. М. Штих

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (03420) 727148,
e-mail: v a s j a m e l @ u k r . n e t*

Використання альтернативних видів палива на двигунах внутрішнього згорання викликає ряд труднощів, пов'язаних з адаптацією двигуна та його систем. При цьому перспектива використання альтернативних палив має істотну економічну та екологічну доцільність і є надзвичайно важливою. Тому питання дослідження основних експлуатаційних показників роботи двигунів при використанні біодизельного палива RME B20 є актуальним. З аналізу літературних джерел встановлено, що дизельні двигуни є перспективним для використання біодизельного палива. Економічність даних двигунів значною мірою залежить від основних параметрів сумішоутворення, що не достатньо дослідженні для палива RME B20. При використанні біодизельного палива B20 на двигуні Renault 2.5 DCI зі зменшенням кута розпилення палива до 60° встановлено зменшення крутного моменту двигуна на 12,5 %; падіння ефективної потужності до 15,7 %; зниження ефективного тиску у циліндрах двигуна до 24,8 %; зростання питомої ефективної витрати палива до 15 %. Це пояснюється тим, що зі зниженням кута розпилення палива площа контакту паливних крапель та повітря у циліндрах двигуна зменшується. А це, в свою чергу, погіршує процес сумішоутворення і призводить до неповноти згорання паливо-повітряної суміші. Зі збільшенням кута розпилення палива до 75° ефективність використання біодизельного палива B20 на двигуні Renault 2.5 DCI зростає. За результатами досліджень роботи двигуна Renault 2.5 DCI на товарному та біодизельному паливі RME B20 встановлено, що використання біодизельного палива призводить до погіршення сумішоутворення за рахунок чого знижується тепловиділення і, як наслідок, зростає витрата палива, знижується потужність та крутний момент двигуна. Для покращення цих показників необхідно змінювати процес сумішоутворення шляхом збільшення кута розпилення палива до 75°.

Ключові слова: двигун, альтернативні палива, біодизель, економія, кут розпилення палива, тепловиділення, витрата, потужність, крутний момент.

Использование альтернативных видов топлива в двигателях внутреннего сгорания вызывает ряд трудностей, связанных с адаптацией двигателя и его систем. При этом перспектива использования альтернативных топлив имеет существенную экономическую и экологическую целесообразность. Поэтому вопрос исследования основных эксплуатационных показателей работы двигателей при использовании биодизельного топлива RME B20 является актуальным. Из анализа литературных источников установлено, что дизельные двигатели являются перспективным и для использования биодизельного топлива. Экономичность данных двигателей в высокой степени зависит от основных параметров смесеобразования, недостаточно исследованных для топлива RME B20. При использовании биодизельного топлива B20 на двигателе Renault 2.5 DCI с уменьшением угла распыления топлива до 60° установлено уменьшение крутящего момента двигателя на 12,5%; падение эффективной мощности до 15,7%; снижение эффективного давления в цилиндрах двигателя до 24,8%; рост удельного эффективного расхода топлива до 15%. Это объясняется тем, что при снижении угла распыления топлива площадь контакта топливных капель и воздуха в цилиндрах двигателя уменьшается. А это, в свою очередь, ухудшает процесс смесеобразования и приводит к неполному сгоранию топливно-воздушной смеси. С увеличением угла распыления топлива до 75° эффективность использования биодизельного топлива B20 на двигателе Renault 2.5 DCI возрастает. По результатам исследований работы двигателя Renault 2.5 DCI с товарным и биодизельном топливе RME B20 установлено, что использование биодизельного топлива приводит к ухудшению смесеобразования за счет чего снижается тепловыделение и, как следствие, растет расход топлива, снижается мощность и крутящий момент двигателя. Для улучшения этих показателей необходимо менять процесс смесеобразования путем увеличения угла распыления топлива до 75°.

Ключевые слова: двигатель, альтернативные топлива, биодизель, экономия, угол распыления топлива, тепловыделение, расход, мощность, крутящий момент.

The use of alternative fuels in internal combustion engines poses a number of difficulties associated with the adaptation of the engine and its systems. However, the prospect of using alternative fuels has significant economic and environmental feasibility, and therefore is extremely important. Therefore, the issue of studying the main performance indicators of engines in the process of using biodiesel fuel RME B20 is relevant. From the analysis of literary sources, it was found that diesel engines are promising for the use of biodiesel fuel. The efficiency of these engines largely depends on the main parameters of mixture formation, which have not been sufficiently investigated for RME B20 fuel. In the process of using B20 biodiesel fuel on a Renault 2.5 DCI engine with a decrease in the fuel spray angle to 60°, it was established: a decrease in engine torque by 12.5%; drop in effective power to 15.7%; reduction of the effective pressure in the engine cylinders up to 24.8%; increase in specific effective fuel consumption up to 15%. This is due to the fact that with a decrease in the fuel atomization angle, the contact area of the fuel drops and air in the engine cylinders decreases. And this, in turn, worsens the mixture formation process and leads to incomplete combustion of the fuel-air mixture. With an increase in the spray angle of the fuel to 75°, the efficiency of using B20 biodiesel fuel on the Renault 2.5 DCI engine increases. Therefore, according to the results of studies of the operation of the Renault 2.5 DCI engine on commercial and biodiesel fuel RME B20, it was found that the use of biodiesel fuel leads to a deterioration in mixture formation due to which heat generation decreases, as a result, fuel consumption increases, and engine power, and torque decrease. To improve these indicators, it is necessary to change the mixture formation process by increasing the fuel atomization angle to 75°.

Key words: engine, alternative fuels, biodiesel, economy, spraying, angle, heat dissipation, consumption, power, torque.

Постановка проблеми

При використанні альтернативного палива на двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) виникає ряд труднощів, що пов'язані з необхідністю адаптування двигуна та його систем.

Проте перспектива використання альтернативних палив має істотну економічну та екологічну доцільність, а тому є надзвичайно важливою.

Використання альтернативних палив призводить до зміни параметрів роботи ДВЗ, однак характер цих змін є, як правило, негативним.

Отже, питання дослідження основних експлуатаційних показників роботи ДВЗ у процесі використання біодизельного палива RME B20 є актуальним, а результати допоможуть усунути або послабити дію негативних факторів, що погіршують техніко-експлуатаційні показники ДВЗ.

Аналіз літературних джерел

Використання альтернативних видів палив скорочує потребу у нафтопродуктах та дозволяє покращити екологічні характеристики ДВЗ. Численні публікації свідчать про те, що за певного зниження потужності та економічних показників роботи дизеля використання паливних сумішей з вмістом ефірів рослинних олій суттєво знижує токсичність відпрацьованих газів двигуна [1-3]. Аналогічні результати отримані під час наших попередніх досліджень [4].

У роботі [5] розглянуто процес оптимізації кута випередження впорскування палива, завдяки якій вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах двигуна Д21А під час роботи на біодизельному паливі зменшується на 51 % зі зниженням потужності на 3 % та економічності –

– на 4 %. При цьому суттєво підвищується димність – до 23 %.

Не досягнуто суттєвого зниження димності і при оптимізації мінімальної величини коефіцієнта надлишку повітря за практично незмінного ефективного ККД та зниження середнього ефективного тиску на 14 %. Навпаки, димність двигуна Д21А зросла на 36 % [5].

Покращенням показників дизеля за рахунок зміни пропорцій дизельного та біодизельного палив у паливній суміші пропонують А.П. Поляков, О.О. Галушак, П.А. Поляков, Д.Л. Корольок [6]. Ними встановлено, що залежно від частоти обертання колінчастого валу деякі характеристики двигуна, який працює на біодизелі, змінюються непропорційно зміні характеристик двигуна, який працює на дизелі. Тобто при переведенні дизельного двигуна на суміш дизельного і біодизельного палив доцільно було б змінити його відсотковий склад при різних режимах роботи. Так, на режимах малого навантаження та на малих обертах двигуна суміш з великим вмістом біодизельного палива мала б перевагу, а зі збільшенням навантаження, коли основним параметром є потужність, доцільно збільшувати вміст дизельного палива.

У роботі [7] науковцями встановлено, що використання біодизельного палива призводить до зростання ККД двигуна. Так, у випадку 100 % біодизеля ККД дизельного двигуна покращується на 6,7 %. Однак, як тут зазначається, при використанні різних біодизельних палив та двигунів з різними камерами згорання можливі деякі відмінності.

Масштабні дослідження ефективності використання пального рослинного походження

для живлення ДВЗ сільськогосподарських машин провели науковці Третяк В.М., Більбут В.С., Ганженко О.М., Мазуренко А.М. [8]. У результаті виробничі та стендові дослідження показали доцільність додавання 10% біоетанолу у впускний колектор дизельного двигуна. Це помітно не впливає на характер його роботи, однак знижує викиди оксиду вуглецю на 25%, двооксиду вуглецю на 13%. Вміст незгорілих вуглеводнів залишився майже таким, як і на дизельному паливі, а збільшення концентрації оксидів азоту пояснюється наявністю додаткового кисню у молекулі біоетанолу.

Питання фізико-хімічних властивостей біодизельних палив досліджене у роботах [9-11]. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що показників якості зразків біодизельного палива на основі етилових естерів ріпакової та ріжівської олії відповідають вимогам до якості біодизельного палива та нафтового дизельного палива марки Євро.

Отже, з наведеного вище видно, наскільки перспективним є використання біодизельного палива на двигунах з дизельними системами живлення. Економічність даних двигунів значною мірою залежить від основних параметрів сумішоутворення, а отже, дослідження геометричних параметрів впорскування палива є досить актуальним.

Основні методи та методики дослідження сумішоутворення дизельних палив

Для проведення досліджень робочого процесу у двигуні при використанні біодизельного палива існує необхідність у перевірці справедливості висунутих припущень. Серед застосованих для цього методів найбільш ефективними є системний аналіз та метод зіставлення. Вони дозволяють проаналізувати з використанням об'єктивних критеріїв порівняльної ефективності вплив діючих в робочому об'ємі двигуна факторів на показники двигуна.

Метод зіставлення дає змогу:

- проаналізувати вплив на характер робочих процесів в ДВЗ факторів, пов'язаних з використанням альтернативних палив;
- систематизувати та проаналізувати запропоновані способи організації робочого процесу, визначити найбільш раціональні параметри камери згоряння для покращеного сумішоутворення у ДВЗ.

Дослідження впливу кута розпилення палива на експлуатаційні показники роботи двигуна Renault 2.5 DCI при використанні біодизельного палива

Для дослідження використано програму Дизель-РК (рис. 1), де як вихідні застосовано попередньо введені дані, що взяті з технічної характеристики двигуна Renault 2.5DCI (табл. 1).

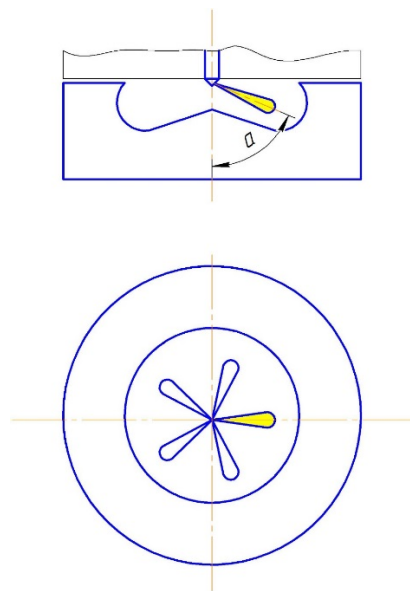
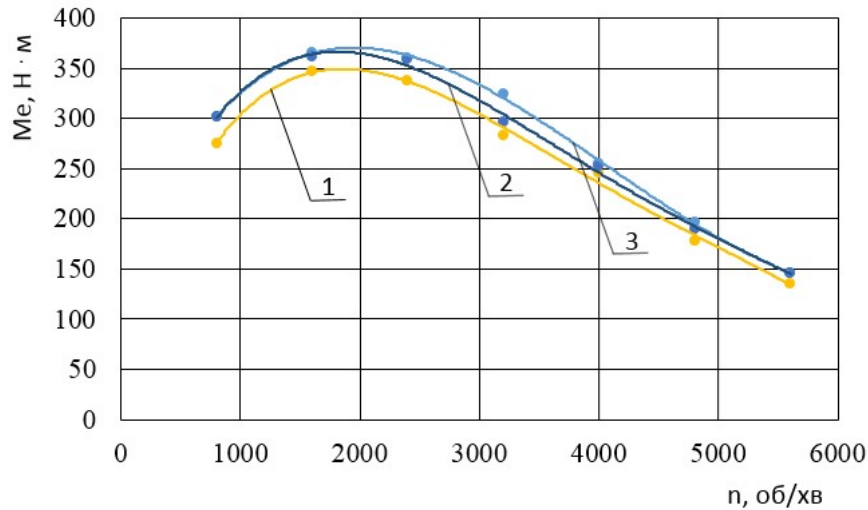


Рисунок 1 – Схема розпилювання палива у двигуні Renault 2.5 DCI

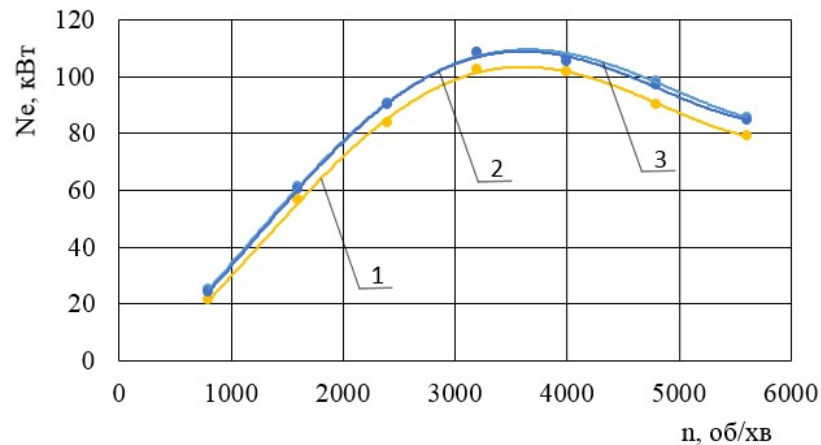
Таблиця 1 – Коротка технічна характеристика двигуна Renault 2.5 DCI

Назва параметра	Значення
1. Діаметр циліндра, мм	89
2. Хід поршня, мм	99
3. Міра стиску	18
4. Номінальна частота, об/хв	3500
5. Діаметр увігнутості поршня, мм	43,2
6. Глибина увігнутості, мм	17,85
7. Глибина паза під клапан 1, мм	1,69
8. Глибина паза під клапан 2, мм	2,12
9. Марка розпилювачів	DSL A 145 P1320
10. Параметри отворів розпилювача	5x0,20x145 ⁰
10. Об'єм двигуна, см ³	2463
11. Потужність двигуна, кВт	99
12. Крутний момент, Н·м	310



1 – паливо В20 при $\alpha=60^0$; 2 – паливо В20 при $\alpha=75^0$; 3 – дизельне паливо при $\alpha=70^0$

Рисунок 2 – Залежність крутного моменту двигуна Renault 2.5DCI від зміни кута розпилення палива α



1 – паливо В20 при $\alpha=60^0$; 2 – паливо В20 при $\alpha=75^0$; 3 – дизельне паливо при $\alpha=70^0$

Рисунок 3 – Залежність ефективної потужності двигуна Renault 2.5DCI від зміни кута розпилення палива α

Еталонним показником для порівняння будуть параметри, отримані для досліджуваного двигуна Renault 2.5DCI при використанні товарного дизельного палива на режимі повних навантажень ($n=5500$ об/хв).

Показники кута розпилення палива α для заводських налаштувань становить 70^0 .

Для експериментів, ними додатково використано значення α : 60^0 ; 75^0 .

Основними параметрами двигуна, що впливають на його динамічні показники та паливну економічність, є:

- крутний момент;
- ефективна потужність;
- питома ефективна витрата палива;
- ефективний тиск.

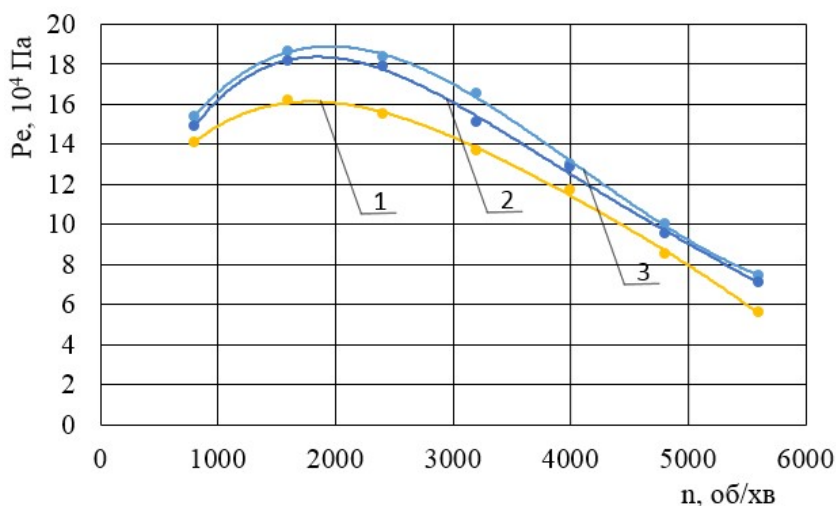
На рис. 2 наведено графічну залежність зміни крутного моменту двигуна Renault

2.5DCI при використанні біодизельного палива В20 зі зміною кута розпилення палива від 60 до 75^0 .

За результатами дослідження зміни крутного моменту у випадку використання палива В20 встановлено, що при $\alpha=60^0$ спостерігається його максимальне відхилення від заводських значень. Як результат, крутний момент знижується до 12,5 %.

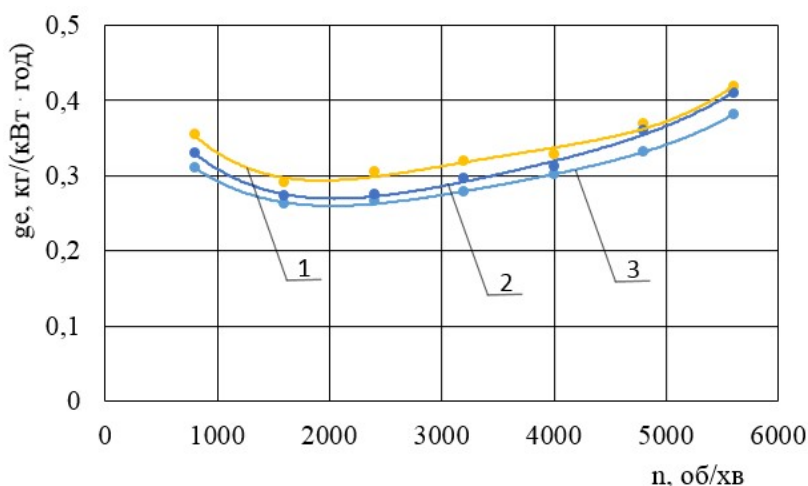
Зі збільшенням кута розпилення палива α до 75^0 спостерігається незначне зменшення крутного моменту – до 3,5 %, що не матиме вагомим негативним впливом на динамічні показники роботи ДВЗ.

На рис. 3 наведено графічну залежність зміни ефективної потужності двигуна Renault 2.5DCI у випадку використання біодизельного палива В20 при зміні кута розпилення палива



1 – паливо B20 при $\alpha=60^\circ$; 2 – паливо B20 при $\alpha=75^\circ$; 3 – дизельне паливо при $\alpha=70^\circ$

Рисунок 4 – Залежність ефективного тиску у циліндрі двигуна Renault 2.5DCI від зміни кута розпилення палива α



1 – паливо B20 при $\alpha=60^\circ$; 2 – паливо B20 при $\alpha=75^\circ$; 3 – дизельне паливо при $\alpha=70^\circ$

Рисунок 5 – Залежність питомої ефективної витрати палива двигуна Renault 2.5DCI від зміни кута розпилення палива α

від 60° до 75° . Виявлено, при $\alpha=60^\circ$ спостерігається максимальне зниження потужності двигуна – до 15,7 %.

Якщо кут розпилення палива збільшити до $\alpha=75^\circ$, то зменшення ефективної потужності двигуна мінімальне і не перевищує 3,2 %.

Графічну залежність зміни ефективного тиску у циліндрах двигуна Renault 2.5DCI у випадку використання палива B20 наведено на рис. 4. Згідно наведеної залежності встановлено максимальне зниження ефективного тиску у циліндрах двигуна – до 24,8 % при $\alpha=60^\circ$.

У результаті збільшення кута розпилення палива до $\alpha=75^\circ$ падіння ефективного тиску у циліндрах двигуна мінімальне і не перевищує 8,6 %.

Результати дослідження впливу кута розпилення палива на питому ефективну витрату палива наведено графічно на рис. 5.

З результатів дослідження випливає, що найгірші показники витрати палива B20 мають місце при $\alpha=60^\circ$. При цьому перевищення витрати становить 15,0 %.

Зменшення питомої ефективної витрати палива до 8% спостерігається при збільшенні кута розпилення палива до $\alpha=75^\circ$.

Висновки. При використанні біодизельного палива B20 на двигуні Renault 2.5 DCI при зменшенні кута розпилення палива до 60° встановлено: зменшення крутного моменту двигуна на 12,5 %; падіння ефективної потужності до 15,7 %; зниження ефективного тиску у ци-

ліндрах двигуна до 24,8 %; зростання питомої ефективної витрати палива до 15 %. Це пояснюється тим, що зі зниженням кута розпилення палива площа контакту паливних крапель та повітря у циліндрах двигуна зменшується. Це, у свою чергу, погіршує процес сумішоутворення і є причиною неповного згоряння паливоповітряної суміші. Зі збільшенням кута розпилення палива до 75⁰ ефективність використання біодизельного палива B20 на двигуні Renault 2.5 DCI зростає.

Отже, за результатами досліджень роботи двигуна Renault 2.5 DCI на товарному та біодизельному паливі RME B20 встановлено, що використання біодизельного палива призводить до погіршення сумішоутворення, за рахунок чого знижується тепловиділення і, як наслідок, зростає витрата палива, знижується потужність та крутний момент двигуна. Для покращення цих показників необхідно змінювати процес сумішоутворення шляхом збільшення кута розпилення палива до 75⁰.

Література

1. Левтеров А. М., Савицький В. Д. Підвищення ефективної потужності дизеля, що працює на сумішевому біодизельному паливі. *Автомобільний транспорт*. 2014. Вип. 34. С. 32–38.

2. Левтеров А. М., Савицький В. Д. Покращення екологічних характеристик дизеля, що працює на біодизельних паливних композиціях. *Автомобільний транспорт*. 2015. Вип. 36. С. 110–117.

3. Левтеров А. М., Авраменко А. Н., Савицький В. Д. Покращення екологічних характеристик дизеля, що працює на біодизельних паливних композиціях. *Автомобільний транспорт*. 2016. Вип. 38. С. 75–82.

4. Мельник В.М. Ефективність використання альтернативного палива з відновлювальних джерел на дизельних двигунах. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2018. №1 (17). С. 91-99.

5. Левтеров А. М., Савицький В. Д., Гладкова Н. Ю. Розробка методів адаптації дизелів до біонафтових паливних композицій. *Проблеми машинобудування*. 2017. Т. 20, №3. С. 54–63.

6. Поляков А. П., Галушак О. О., Поляков П. А., Королюк Д. Л. Покращення показників дизеля зміною пропорцій дизельного та біодизельного палив в паливній суміші. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2013. № 3(36). С. 167–169.

7. Поляков А. П., Нгаяхи Аббе К. В., Галушак О. О., Бишко М. О., Заверуха Ю. В. Дослідження впливу на техніко-економічні та екологічні показники дизеля переведення його на роботу на біодизельне паливо. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2012. № 1. С. 61-69.

8. Третяк В. М., Боблут В. С., Ганженко О. М., Мазуренко А. М. Ефективність використання пального рослинного походження для живлення двигунів внутрішнього згоряння сільськогосподарських машин. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 163–167.

9. Яковлева А. В., Бойченко С. В., Гудзь А. В., Зубенко С. О. Фізико-хімічні властивості біодизельних палив на основі етилових естерів ріжєвої олії. *Каталіз та нафтохімія*. 2020. № 29. С. 24–30.

10. Зубенко С. О., Патриляк Л. К., Коновалов С. В. Порівняння фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей біодизельного палива на основі метанолу та тіоспиртів. *Каталіз и нефтехимия*. 2018. № 27. С. 1–18.

11. Cherian G. Camelina sativa in poultry diets: opportunities and challenges. Biofuel co-products as livestock feed. Opportunities and challenges, at Ed. Harinder P.S.M., 2012. Ch.17. P. 303–310.

References

1. Lievtierov A. M., Savytskyi V. D. Pidvyshchennia efektyvnoi potuzhnosti dyzelia, shcho pratsiuie na sumishevomu biodyzelnomu palyvi. *Avtomobilnyi transport*. 2014. Vol. 34. P. 32–38. [in Ukrainian]

2. Lievtierov A. M., Savytskyi V. D. Pokrashchennia ekolohichnykh kharakterystyk dyzelia, shcho pratsiuie na biodyzelnykh palyvnykh kompozytsiakh. *Avtomobilnyi transport*. 2015. Vol. 36. P. 110–117. [in Ukrainian]

3. Lievtierov A. M., Avramenko A. N., Savytskyi V. D. Pokrashchennia ekolohichnykh kharakterystyk dyzelia, shcho pratsiuie na biodyzelnykh palyvnykh kompozytsiakh. *Avtomobilnyi transport*. 2016. Vol. 38. P. 75–82. [in Ukrainian]

4. Melnyk V.M. Efektyvnist vykorystannia alternatyvnoho palyva z vidnovliuvalnykh dzherel na dyzelnykh dvyhunakh. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia*. 2018. No 1 (17). P. 91-99. [in Ukrainian]

5. Lievtierov A. M., Savytskyi V. D., Hladkova N. Yu. Rozrobka metodiv adaptatsii dyzeliv do bionaftovykh palyvnykh kompozytsii. *Problemy mashynobuduvannia*. 2017. Vol. 20, No 3. P. 54–63. [in Ukrainian]

6. Poliakov A. P., Halushchak O. O., Poliakov P. A., Koroliuk D. L. Pokrashchennia pokaznykiv dyzelia zminoiu proporsii dyzelnoho ta biodyzelnoho palyv v palyvni sumishi. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho universytetu Povitrianykh Syl*. 2013. No 3(36). P. 167–169. [in Ukrainian]

7. Poliakov A. P., Nhaiakhy Abbe K. V., Halushchak O. O., Byshko M. O., Zaverukha Yu. V. Doslidzhennia vplyvu na tekhniko-ekonomichni ta ekolohichni pokaznyky dyzelia perevedennia yoho na robotu na biodyzelne palyvo. *Visnyk Donetskoi akademii avtomobilnoho transportu*. 2012. No 1. P. 61-69. [in Ukrainian]

8. Tretiak V. M., Bolbut V. S., Hanzhenko O. M., Mazurenko A. M. Efektyvnist vykorystannia palnoho roslynnoho pokhodzhennia dlia zhyvlenia dvyhuniv vnutrishnoho zghoriannia silskohospodarskykh mashyn. *Naukovi pratsi instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv*. 2013. Vol. 19. P. 163–167. [in Ukrainian]

9. Yakovlieva A. V., Boichenko S. V., Hudz A. V., Zubenko S. O. Fyzyko-khimichni vlastyvoli biodyzelnykh palyv na osnovi etylovykh esteriv ryzhiievoi olii. *Kataliz ta naftokhimiia*. 2020. No 29. P. 24–30. [in Ukrainian]

10. Zubenko S. O., Patryliak L. K., Konovalov S. V. Porivniannia fizyko-khimichnykh ta ekspluatatsiinykh vlastyvoitei biodyzelnoho palyva na osnovi metanolu ta tiospyrtiv. *Katalyz y neftekhymyia*. 2018. No 27. P. 1–18. [in Ukrainian]

11. Cherian G. Camelina sativa in poultry diets: opportunities and challenges. Biofuel co-products as livestock feed. Opportunities and challenges, at Ed. Harinder P.S.M., 2012. Ch.17. P. 303–310.