

Гнип М.М.

*Івано-Франківській національній технічній університет нафти і газу***ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДВИГУНА Д21А1 У ПРОЦЕСІ ВИКОРИСТАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА НА ОСНОВІ SME**

На даний час у сфері альтернативних видів палива спостерігається постійне нарощування обсягів їх виробництва. В Європі та світі вводять все більш жорсткі вимоги екологічного стандарту (Євро 6, з 2025 р. Євро 7), на застосування якого до автомобілів і моторних палив пред'являються вимоги, що підвищують їх екологічну безпеку. Однак більшість альтернативних палив самі по собі не можуть розглядатися, як готове до використання моторне паливо. Це пов'язано з тим, що експлуатаційні та екологічні властивості більшості альтернативних палив не відповідають властивостям товарних палив. Вирішення даної проблеми можливе двома основними шляхами:

- 1) поліпшення властивостей альтернативних палив за рахунок їх доопрацювання та очищення;
- 2) використання сумішей альтернативних палив з товарними паливами в певних співвідношеннях, які не нашкодять ні двигуну, ні навколишньому середовищу.

Велика увага науковців направлена на дослідження біодизельного палива на основі ріпаку. З рослин, придатних для виготовлення біопалива, в Україні найбільша посівна площа у пшениці та соняшнику. Вирощується також ріпак ярий та ріпак озимий, соя, кукурудза та цукровий буряк. Майже всі ці рослини, крім сої та пшениці, становлять небезпеку для ґрунту. Тому, виходячи з наведеного вище, більш перспективними для отримання біодизельного палива є соя.

Перед початком дослідження навантажувальної характеристики дизельного двигуна Д21А1 встановлювали важіль включення передач коробки передач на пряму передачу (четверта передача).

Проведення випробування дизельного двигуна здійснювали за навантажувальною характеристикою під час зміни числа обертів двигуна від 800 до 2000 об/хв.

До початку випробувань дизельний двигун прогрівали до температури оливи не менше ніж 40°C.

Ключові слова: дизельний двигун, біодизель, коефіцієнт корисної дії, паливна ефективність, потужність двигуна.

ВСТУП

Біодизельне паливо, отримане з відновлюваних ресурсів, останнім часом робить його більш привабливим для використання на ДВЗ. День за днем світ модернізується та розвивається. Наслідком є зростання кількості автомобілів і ДВЗ. Однак запаси джерел енергії, які використовуються в цих двигунах є обмеженими і постійно вичерпуються. Це призводить до необхідності пошуку альтернативних видів дизельних палив.

Біодизель — це складний ефір жирної кислоти з довгим ланцюгом, виготовлений із оновленої та біологічної сировини, такої як використана олія, тваринний жир, рослинна олія та водорості.

Біодизель є відновлюваним і чистим паливом, оскільки воно зменшує викиди оксиду вуглецю, вуглекислого газу, вуглеводнів і твердих частинок порівняно з дизельним паливом на основі нафти.

Виробництво біодизеля з відновлюваних ресурсів здійснюється за допомогою реакції переестерифікації, під час якої органічна група (алкіл) спирту заміщується органічною групою тригліцериду – основного компонента вихідної сировини, утворюючи алкіловий ефір жирної кислоти (біодизель) і сирий гліцерин.

Біодизель можна використовувати в чистому вигляді (B100) або змішувати з нафтовим дизелем у будь-якій концентрації, якщо його специфікації ідентичні специфікаціям міжнародного стандарту, наданим Американським стандартом для тестування матеріалів (ASTM) або EN14214 в Європейському Союзі для альтернативних видів палива.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В роботі [1], виконано аналіз основних видів альтернативного палива для дизельних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), досліджено їх основні показники та здійснено оцінку основних фізико-хімічних показників найпоширеніших видів біодизельного палива і описані необхідні умови для їх застосування у ДВЗ. Проте, з виконаних досліджень не можна оцінити вплив добавок SME на характер та закономірність зміни основних техніко-експлуатаційних показників отриманого біодизельного палива.

Робота [2] присвячена аналізу фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей біодизельного палива на основі етилових естерів жирних кислот рижієвої олії та сумішевих біодизельних палив із

різним відсотковим вмістом етилових естерів. Проведено порівняльний аналіз зразків біодизельних палив на основі метилових і етилових естерів жирних кислот ріпакової та рижієвої олії. У результаті дослідження обґрунтовано використання рижієвої олії для виробництва біодизельного палива, а саме для повної або часткової заміни традиційного нафтового дизельного палива.

Дослідження впливу біодизельного палива на токсичність ДВЗ виконано у роботі [3]. Авторами запропоновано ряд заходів з покращення екологічних показників дизельного ДВЗ та досліджено їх вплив на потужність та економічність. Найперспективнішими заходами щодо підвищення екологічних показників ДВЗ виявилися оптимізація кута випередження впорскування палива та оптимізація мінімальної величини коефіцієнта надлишку повітря в результаті чого викиди діоксидів азоту знизилися на 63 %, а його димність на 78 %.

В роботі [4] розглянуто основні паливо-мастильні властивості біодизеля в порівнянні зі звичайним дизельним паливом, його вплив на потужності двигуна. Також автори проаналізували витрату палива і теплову ефективність біодизеля, в порівнянні зі звичайним дизельним паливом та дослідили показники викидів біодизельного і дизельного палива. За результатами досліджень встановлено, що при використанні біодизельного палива в двигунах збільшуються викиди оксиду азоту, але їх можна контролювати шляхом прийняття певних рішень, таких як додавання метанового поліпшувача, затримки впорскування, рециркуляції вихлопних газів і т.д.

Широкомасштабні дослідження біодизельного палива виконано авторами [5]. Ними встановлено, що робота дизеля на біодизельному паливі з більш високою густиною та кінематичною в'язкістю супроводжується зростанням максимальної потужності та крутного моменту, а також підвищенням витрати палива. При цьому також підвищується концентрація оксидів азоту в відпрацьованих газах та зростає димність.

У роботі [6] розглядається можливість використання сивушного спирту як додатку до моторного дизельного палива. Наведено результати експериментальних досліджень дизелів, що працюють на суміші дизельного палива і сивушних масел. За результатами досліджень покращено паливні та екологічні показники двигунів, що працюють на суміші дизельного палива і сивушних масел. Проте, сивушні масла несуть і негативний вплив для елементів системи живлення двигуна, оскільки містять до 8 % води, що не допустимо для дизельного палива.

Автори [7] досліджують процес виробництва біодизельного палива, зокрема вплив капіталовкладень на собівартість вартість виробництва палива. Результати показують, що основна складова вартості біодизельного палива – ціна сировини. А, отже знизивши собівартість виробництва сировини можна досягнути економічної ефективності використання соєвої олії для виробництва біодизельного палива.

Аналогічні дослідження собівартості виробництва целюлозного етанолу, розробленого та перевіреного Університетом Флориди в лабораторних, пілотних і демонстраційних масштабах виконані в [8]. Мінімальна відпускна ціна етанолу коливалася від 50,38 до 62,72 центів США/л. Основний внесок у собівартість виробництва внесли вихідна сировина та капітальні витрати, які становили від 23-28% до 40-49% відповідно. Ці висновки свідчать про те, що майбутні зусилля з підвищення економічної доцільності процесу целюлозного етанолу повинні зосередитися на оптимізації для отримання найвищого виходу етанолу.

У роботі [9] в процесі використання біодизельного палива RME B100 на двигуні Renault 2.5 DCI встановлено збільшення середнього діаметру крапель палива; зафіксовано збільшення далекобійності струменя і зменшення його ширини; контур факела набуває конусної форми; спостерігається загострення при його вершині.

Можна припустити існування надзбагаченої серцевини струменя, що призводить до зменшення кут розкриття факела. Перераховані фактори призводять до погіршення розподілу палива по зонах факела розпилення. Тільки 50 % палива знаходиться в оболонці струменя, що призводить до погіршеного змішуванні палива з повітрям. У ядрі стінки знаходиться 18 % палива, яке буде розтікатися по стінках і погано змішуватися з повітрям. Решта палива (36 %) буде знаходитися в ядрі струменя, на фронті вільного струменя та зонах перетину пристінних потоків, і частково візьме участь у сумішоутворенні. Це свідчить, що використання RME у чистому вигляді призводить до запізнення тепловиділення на 18 – 20 градусів повороту колінчастого валу.

А, отже використання SME та RME без зміни конструкції системи живлення ДВЗ можливе тільки у сумішах з товарним паливом у пропорціях до 60 % мас.

Теоретичні дослідження робочого циклу біодизельного двигуна здійснені у роботі [10]. За результатами дослідження робочого циклу дизеля встановлено, що живлення двигуна біодизельним

палив на основі SME та RME в порівнянні з використанням мінерального палива, характеризується зменшенням швидкості тепловиділення та збільшенням тривалості процесу згоряння, що призводить до незначного погіршення індикаторного ККД. Проте, зазначені чинники сприяють зниженню кількості оксиду азоту, що утворюється у камері згоряння дизеля, а зміна іншого індикаторного показника біодизельного палива, зменшення тривалості періоду затримки займання палива сприяє зниженню рівня шуму та димності відпрацьованих газів дизеля [10].

Біодизель – це алкіловий ефір, виготовлений із відновлюваної сировини, наприклад відходів тваринного жиру, рослинної олії та водоростей. Крім того, біодизель за складом і властивостями порівнянний з нафтодизелем табл. 1.[11].

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика ДП і SME

Назва показника	Значення для ДП згідно ДСТУ 7688:2015	Біодизельне паливо, SME
Вміст компонентів:		
С	0,87	0,7731
Н	0,126	0,1188
О	0,004	0,1081
Нижча теплота згоряння, мДж	42,5	36,22
Вміст сірки, %	0,01	0,005
Цетанове число, не менше	51	51-65
Густина, кг/м ³	835	885
Температура спалаху, °С	60-80	100-170

Дизельне або петродизельне паливо – це невідновлюване викопне паливо, яке отримують із сирої нафти і, ймовірно, буде вичерпано в майбутньому [12]. Оскільки дизельне паливо виробляється з невідновлюваних ресурсів, це призводить до зростання витрат на енергію, особливо через падіння видобутку сирої нафти [13]. У той час як біодизель виробляється із вихідної сировини за допомогою реакції переетерифікації, яка включає обмін гліцеридів (основного компонента вихідної сировини) органічною групою на органічну групу спирту для виробництва біодизеля та гліцерину як побічного продукту [14, 15]. У табл. 1.1 наведено склад і властивості біодизеля, а також товарного дизельного палива [16, 17].

Біодизель є одним із поширених видів біопалива, яке використовується в багатьох країнах, воно використовується у великих кількостях у США, Бразилії, Індонезії, Малайзії, Франції, Німеччині та інших європейських країнах. Світове виробництво біодизеля зросло з 3,5 мільйонів тон у 2005 році до 16 мільйонів тон у 2010 році, досягло 29 мільйонів тон у 2016 році та, як очікується, перевищить 36,5 мільйонів тон у 2025 році [18].

Багато експертів припускають, що глобальне виробництво біодизеля буде збільшено, щоб задовольнити майбутні потреби в біодизелі, які становитимуть близько 277 мільйонів тон на рік до 2050 року [19, 20].

Екологічно-чисте горіння, хороша ефективність змащування, низький вміст ароматичних речовин, низький вміст сірки, високе цетанове число та низька температура застигання позитивно характеризують біодизель над товарним дизельним паливом.

Хороші властивості біодизеля зменшують викиди твердих частинок (PM), оксиду вуглецю (CO) і вуглеводнів (HC) у вихлопних газах. Тому біодизель є екологічно чистим паливом [21, 22].

Сировина є дуже важливою перспективою в біодизельній промисловості, оскільки вартість біодизеля значною мірою залежить від переробленої сировини, що використовується. Сьогодні вихідна сировина становить щонайменше 80 % витрат, пов'язаних з виробництвом біодизеля [23].

Близько 95% виробництва біодизеля в усьому світі виробляється з харчових олій, що вважається непотрібним статусом, оскільки світ переживає продовольчу проблему [24].

Тому зараз новим трендом є виготовлення біодизеля з дешевої нехарчової олії [25].

Деякі види сировини відрізняються високою продуктивністю у виробництві біодизеля через високий вміст тригліцеридів, такі як пальма, ятрофа, мікроводорості, кокосова олія та відпрацьована кулінарна олія [26].

Сировину для біодизелю можна розділити на дві основні категорії, як показано нижче [27]:

- харчова рослинна олія: соєва, арахісова, соняшникова, пальмова, кокосова;

- нехарчова рослинна олія: рапсова, ятрофова, відпрацьована кулінарна олія.

Біодизель виробляють з рослинної олії за допомогою реакції переетерифікації, яка є реакцією тригліцеридів зі спиртом у визначений час, температуру, швидкість змішування та в присутності каталізатора, утворюючи алкілові ефіри жирних кислот (біодизель) і неочищений гліцерин [28,29].

Метанол, етанол або бутанол є основними спиртами, які використовуються в реакціях переетерифікації [30]. Існує чотири типи реакцій переетерифікації [29, 31]:

- лужний каталізатор;
- кислотний каталізатор;
- ферментний каталізатор;
- некаталізована суперкритична переетерифікація метанолу.

У промисловості лужна або основно-каталізована переетерифікація є найпоширенішим процесом, оскільки це найпростіший і найшвидший процес [32, 33].

Вільні жирні кислоти (ВЖК) є небажаними сполуками у вихідній сировині, оскільки вони реагують з основним каталізатором, утворюючи солі карбонових кислот (мило) і воду. Реакція милоутворення є найбільшою перешкодою для біодизельної промисловості, оскільки мило скорочує вихід біодизеля, підвищує в'язкість продуктів, утворює емульсії та ускладнює відділення гліцерину від біодизеля [34]. Тому високий вміст ВЖК руйнує реакцію переетерифікації.

Сировина з ВЖК більше 1 % не обробляється безпосередньо базовим каталізатором переетерифікації, а тому, до вихідної сировини повинні застосовуватися додаткові етапи обробки. І, навпаки, вихідна сировина з ВЖК менше 1 % можна обробити безпосередньо.

У промисловому застосуванні кислотна естерифікація є найпоширенішим процесом обробки для зменшення ВЖК. Етерифікація гліцерину або гліцероліз є ефективним процесом для зменшення вмісту ВЖК, але він не відомий як кислотна етерифікація. Гліцероліз здатний зменшити ВЖК у сировині низької якості за відсутності етапів метанолу та вакуумної десорбції [36].

Кислотна обробка здійснюється шляхом реакції спирту з ВЖК з використанням кислоти як каталізатора для отримання біодизеля та води, таким чином вміст ВЖК знижується. Цей процес обробки застосовують у разі вмісту ВЖК у сировині більше 1 % [37]. При кислотній обробці один моль метанолу реагує з одним молем ВЖК для досягнення реакції, тому для завершення реакції потрібна велика кількість метанолу [36].

Гліцероліз або етерифікація гліцерину – це процес обробки, який має здатність перетворювати ВЖК на гліцериди. Гліцероліз включає реакцію ВЖК і гліцерину з утворенням гліцеридів і води. Утворені гліцериди потім перетворюють на біодизель за допомогою лужної переетерифікації [38].

При гліцеролізі потрібна невелика кількість гліцерину, один моль гліцерину достатньо для трьох молей ВЖК [39].

Процес гліцеролізу не є поширеним у виробництві біодизеля, оскільки вимагає використання дорогих металевих каталізаторів при високій температурі, яка може досягати 220 °С [40-42]. Гліцероліз широко використовується в інших галузях промисловості для виробництва поверхнево-активних речовин і емульгаторів, наприклад, у харчовій, косметичній або фармацевтичній промисловості. Неочищений гліцерин – побічний продукт виробництва біодизеля – можна використовувати в реакції гліцеролізу, але після його обробки, оскільки він містить багато домішок і має високий рН.

Біодизель можна виготовляти з понад 300 видів харчових і нехарчових рослинних олій [43, 44]. Більшість цієї сировини має високу продуктивність біодизеля через високу концентрацію тригліцеридів [45].

Харчова олія. Харчова олія виробляється з рослинних ресурсів; використовується в основному для безпосереднього споживання людиною у їжу. Містить різні поживні інгредієнти, тому є здоровою їжею [46].

Видобуток харчової олії з її ресурсів зазвичай не потребує хімічної обробки. Найбільш поширеною харчовою олією, яка використовується для виробництва біодизеля, є пальмова, соєва, соняшникова, рапсова та арахісова олії [25, 47].

Пальмова олія. Пальмова олія є важливою харчовою олією, оскільки від 70% до 90% пальмової олії використовується в харчовій промисловості, а решта використовується в інших галузях [48].

Пальмова олія має високу продуктивність біодизеля, оскільки 1,25 літра пальмової олії виробляє 1 літр біодизеля [49].

Пальмова олія видобувається з насіння пальми, вона також має вміст олії, який досягає 20-21% [50].

Пальмова олія повинна бути оброблена перед реакцією переетерифікації для видалення твердих частинок, води, кольору та запаху, після обробки пальмової олії вміст ВЖК становить 0,1 %.

Малайзія та Індонезія є найбільшими виробниками пальмової олії [26].

Соева олія. Соева олія є життєво важливою харчовою олією через її багато переваг для здоров'я. Світове виробництво соєвої олії становить 222 млн. тон і виробляється в основному в США, Бразилії та Східній Азії. Біодизель виробляється в основному в США з соєвої олії, для виробництва одного літра біодизеля потрібно 1,3 літра соєвої олії [48].

Ріпакова олія. Ріпак – жовта квітка, яку висаджують переважно в Європі та Канаді. Використовується як корм для тварин, ріпакова олія характеризується високою продуктивністю, оскільки з 1,1 літра ріпакової олії виходить 1 літр біодизеля [51].

Нехарчова олія. Нехарчова олія – це олія, яка не є придатною для харчування людей, оскільки вона використовується в основному в промислових цілях, таких як виробництво біопалива, мила, миючих засобів і фарб [46].

Щоб зробити нехарчову олію придатною для певного застосування, необхідні різні хімічні процеси, тому її дешевше використовувати в промислових цілях. Найпоширенішою нехарчовою олією, яка використовується для виробництва біодизеля, є рицина тваринного жиру, ятрофа, жожоба та використана кулінарна олія [25, 47].

Перешкодою для використання нехарчової олії як сировини для біодизеля є велика кількість ВЖК, які реагують з основним каталізатором, утворюючи емульсії та мило, таким чином перешкоджаючи основній реакції переетерифікації [52] і знижуючи вихід біодизельного палива. Тому перед реакцією переетерифікації слід зменшити концентрацію ВЖК [34].

Масло ятрофи. Масло ятрофи отримують з насіння ятрофи. Ятрофа культивується при високій температурі зі стічними водами, тому це перспективний ресурс біодизеля в Єгипті; особливо це основний ресурс біодизеля в Азії та Африці. Олія ятрофи характеризується значною продуктивністю біодизеля, оскільки її насіння містять 30-35 % олії, і цю олію можна перетворити на біодизель [26].

Олія ятрофи також використовується в інших цілях, таких як виробництво мила, косметики та мастильних матеріалів [36].

Рицинова олія. Рицинова олія — безбарвна або слабко-жовта рідина з виразним смаком і запахом. Її температура кипіння 313 °С, густина 961 кг/м³. В'язкість олії приблизно в сім разів перевищує в'язкість інших рослинних олій. Біодизель, виготовлений з рицинової олії, має надзвичайно низьку температуру помутніння та температуру застигання, що робить це біодизель ідеальною альтернативою в зимових умовах, але в'язкість біодизеля з рицинової олії не відповідає міжнародним стандартам біодизельного палива [53, 54].

Відпрацьована олія. Відпрацьована кулінарна олія є багатообіцяючою альтернативою для виробництва біодизеля завдяки численним перевагам. У порівнянні з іншими оліями, використана кулінарна олія характеризується низькою ціною, доступністю, легкістю збирання в будинках і ресторанах і поновлюваністю [26]. Крім того, це мінімізує необхідність використання землі для вирощування біодизельного палива. У багатьох країнах використана кулінарна олія викидається спричиняючи забруднення навколишнього середовища, незважаючи на її важливість у виробництві біодизеля.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для покращення експлуатаційних та екологічних властивостей товарних палив та промислових масштабів виробництва альтернативних сумішевих біодизельних палив з SME (соєвої олії) необхідно удосконалити технологічну схему із застосуванням спеціального обладнання та дослідити основні фізичні та експлуатаційні показники отриманих паливних сумішей, а також техніко-експлуатаційні показники роботи дизельного двигуна на утвореному паливі.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі основні задачі дослідження:

- удосконалення установки для отримання сумішей дизельного палива та SME у необхідному об'ємному співвідношенні;
- дослідження параметрів роботи установки для отримання сумішевих палив необхідного об'ємного складу;
- дослідження фізико-хімічних та експлуатаційних показників сумішей дизельного палива та SME;

- дослідженні техніко-експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна на утворених паливних сумішах.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Зняття навантажувальної характеристики двигуна Д21А здійснено за постійної частоти обертання колінчастого вала ($n=750$ об/хв.), на попередньо прогрітому двигуні.

З метою мінімального впливу коробки передач на результати експерименту всі випробування дизеля Д21А1 проведені на прямій четвертій передачі.

Під час проведення експерименту умови навколишнього середовища були такими:

- температура навколишнього середовища $t_{\text{нс}}=21$ °С;
- атмосферний тиск, $p=745$ мм.рт.ст.

Роботу компресора під час створення абсолютного тиску повітря p_2 визначали за показником політропи стиску n .

Середня температура повітря на виході з компресора наведена в табл. 2.

Інші необхідні дані для визначення потужності приводу компресора взяті з технічного паспорта компресора.

У табл. 3 наведені результати визначення роботи та потужності, що споживає компресор за різних значень абсолютного тиску повітря p_2 .

Рис. 1 ілюструє одержану залежність потужності приводу компресора – від абсолютного тиску повітря на виході з компресора.

Таблиця 2 – Середня температура повітря на виході з компресора в залежності від створеного компресором абсолютного тиску повітря

Абсолютний тиск повітря на виході з компресора, МПа	Температура повітря на виході з компресора T_2 , °С			
	1	2	3	Середнє значення
0,49	63	64	64	63,7
0,981	67	67	68	67,3
1,47	69	70	70	69,7
1,96	72	72	73	72,3
2,45	76	77	77	75,7
2,94	78	78	78	78

Таблиця 3 – Результати визначення роботи та потужності приводу компресора

Абсолютний тиск повітря на виході з компресора, МПа	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45
Робота компресора, МДж	25,3	36,4	42,9	47,7	51,5
Потужність приводу ДВЗ Д21А1, кВт	9	13	15,3	17	18,4

При знятті навантажувальних характеристик дизеля Д21А1 заданий швидкісний режим підтримується зміною кількості палива, яка подається паливним насосом високого тиску в циліндри. Кількість повітря яке поступає в циліндр дизеля від навантаження практично не залежить, хоча при його зменшенні дещо знижується коефіцієнт наповнення внаслідок підвищення температурного режиму двигуна.

Робота дизеля Д21А1 в режимі холостого ходу характеризується високим коефіцієнтом надлишку повітря, індикаторним ККД і низькою індикаторною питомою витратою палива.

При збільшенні навантаження зростає циклова подача палива, що приводить до зниження коефіцієнта надлишку повітря. Але оскільки при малих і середніх навантаженнях величина цього коефіцієнта достатньо велика і значно перевищує межі димності, то індикаторний ККД не дуже змінюється.

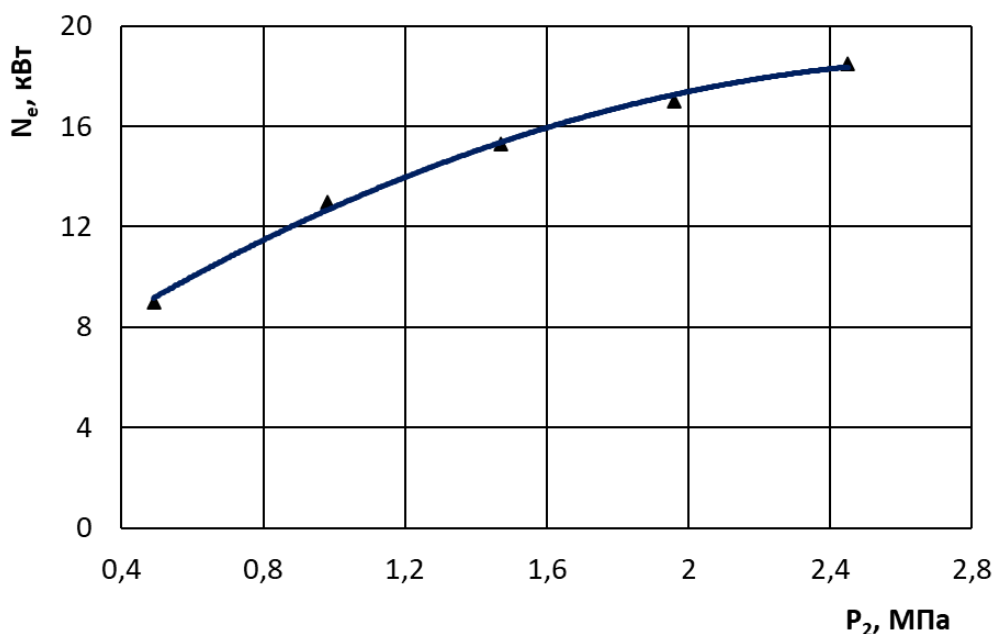


Рисунок 1 – Залежність потужності приводу компресора N_e двигуна Д21А1 від абсолютного тиску повітря p_2 на виході з компресора

На рис. 2 наведено залежність зміни крутного моменту двигуна Д21А1 в залежності від розвинутої потужності двигуна.

Результати досліджень зміни G_t , g_e двигуна Д21А1 в залежності від розвинутої потужності двигуна на різних паливних сумішах SME та ДП наведено на рис. 3 та 4

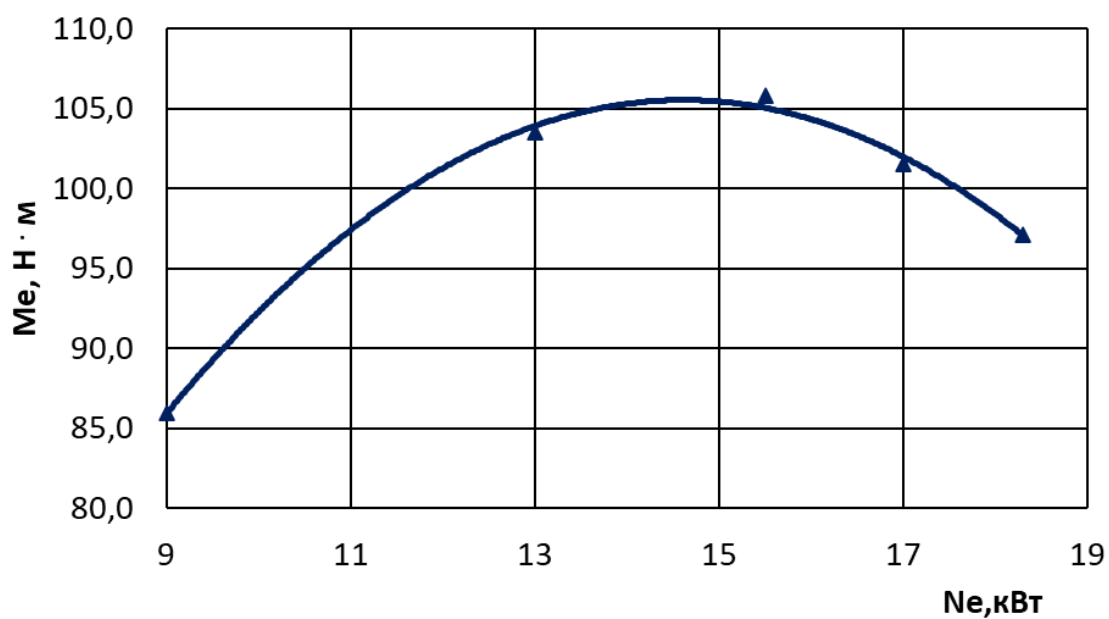


Рисунок 2 – Експериментальні залежності крутного моменту M_e двигуна Д21А1 від його навантаження N_e

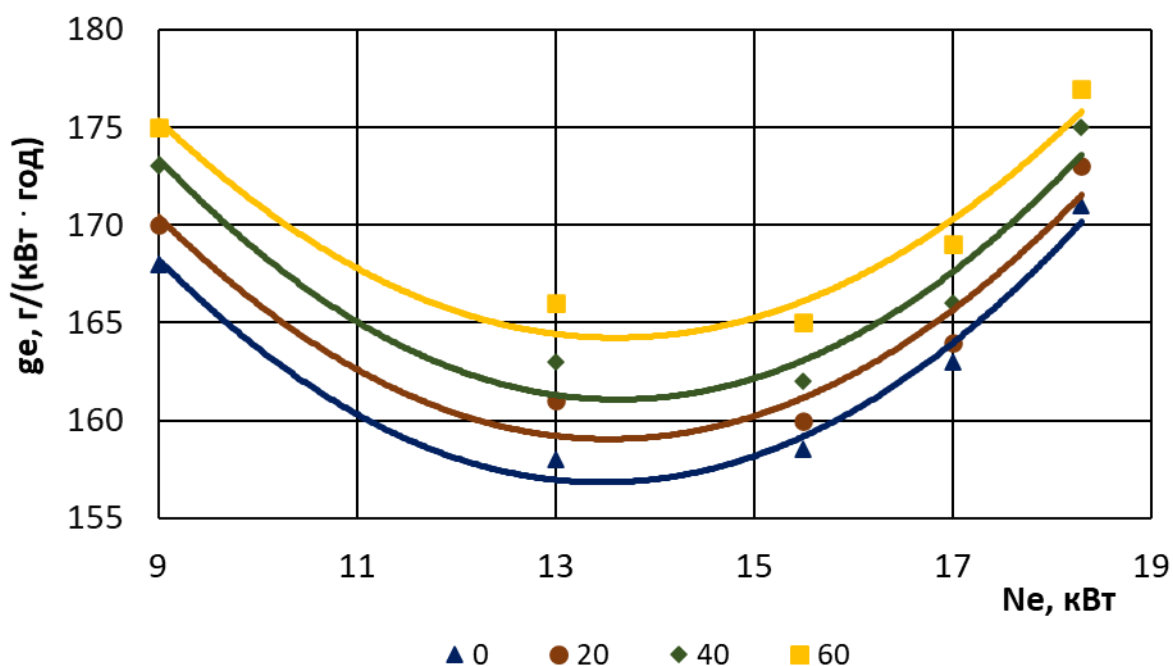


Рисунок 3 – Експериментальні залежності питомої ефективної витрати палива g_e двигуна Д21А1 від його навантаження N_e за різних значень вмісту SME у дизельному паливі

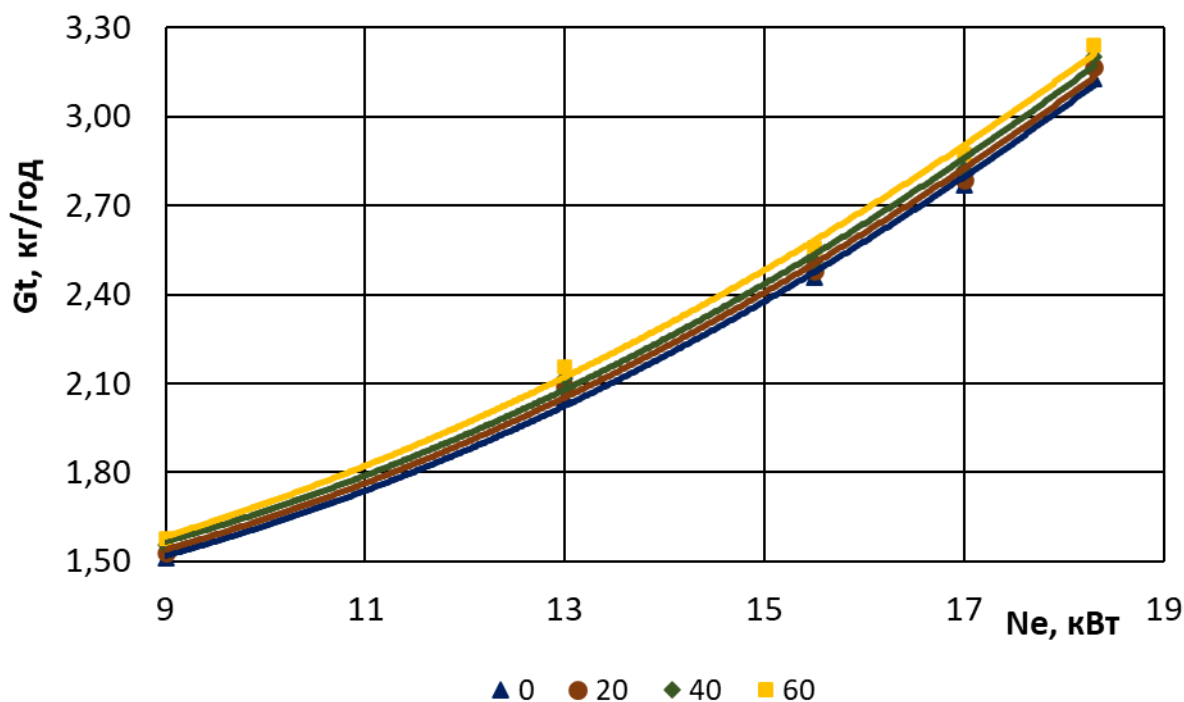


Рисунок 4 – Експериментальні залежності годинної витрати палива G_t двигуна Д21А1 від його навантаження N_e за різних значень вмісту SME у дизельному паливі

Одержані залежності (рис. 1-4) апроксимуються наступними поліномами:

$$M_e = -27,383 - 0,6223 \cdot N_e^2 + 18,19 \cdot N_e, \quad (1)$$

$$g_e = a_1 + b_1 \cdot N_e^2 - b_2 \cdot N_e, \quad (2)$$

$$G_t = a_2 + b_3 \cdot N_e^2 - b_4 \cdot N_e, \quad (3)$$

Дослідні коефіцієнти для рівнянь (2) і (3) наведено в табл. 4

Таблиця 4 – Дослідні коефіцієнти для рівнянь (2) і (3)

Витрата палива	Коефіцієнти	Значення коефіцієнтів за вмісту SME, % об.			
		0	20	40	60
g_e	a_1	260,62	260,44	268,09	261,58
	b_1	0,572	0,5529	0,5759	0,5258
	b_2	15,41	14,976	15,702	14,309
G_t	a_2	1,3604	1,3384	1,3893	1,2678
	b_3	0,0084	0,0081	0,0083	0,0076
	b_4	0,0576	0,0508	0,0554	0,0336

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Питома ефективна витрата палива g_e в зоні низьких і середніх навантажень знижується в основному в результаті підвищення механічного ККД. В зоні навантажень близьких до повного зниження коефіцієнта надлишку повітря приводить до зниження індикаторного ККД і до збільшення індикаторної питомої витрати палива.

Аналіз графічних залежностей на рис 4.4 та 4.5 свідчить, що на режимі навантаження спостерігається зростання питомої ефективної та годинної витрати палива на 5,5 та 4,8 % відповідно. Це пояснюється зниженням нижчої теплоти згоряння паливних сумішей дизельного палива з SME у порівнянні із товарним дизельним паливом.

ВИСНОВКИ

Експериментальні дослідження устаткування для споживання створених альтернативних палив з вмістом SME – двигун Д21А1 засвідчили можливість їхньої повноцінної експлуатації без будь-яких конструктивних змін у разі використання сумішей ДП з вмістом SME до 60 %. Це сприятиме широкому використанню цих альтернативних палив не тільки на автомобілях, але й на інших транспортних, сільськогосподарських, будівельних машинах тощо.

Аналіз навантажувальної характеристики двигуна Д21А1 на паливних сумішах ДП та SME свідчить, що на режимі навантаження спостерігається зростання питомої ефективної та годинної витрати палива на 5,5 та 4,8 % відповідно. Це пояснюється зниженням нижчої теплоти згоряння паливних сумішей дизельного палива з SME у порівнянні із товарним дизельним паливом.

Визначені експериментальним шляхом експлуатаційні характеристики двигуна Д21А1 сприятимуть практичному використанню створених і досліджених у роботі альтернативних палив з вмістом SME.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мельник В. М. Дослідження основних техніко-експлуатаційних характеристик альтернативних видів палива для дизельних ДВЗ / В. М. Мельник, Т. Й. Войцехівська, А. Р. Сумер // Наукові праці ВНТУ. – 2018. – №2. – С. 1-13.
2. Яковлева А. В. Фізико-хімічні властивості біодизельних палив на основі етилових естерів рижієвої олії / А. В. Яковлева, С. В. Бойченко, А. В. Гудзь, С. О. Зубенко // Каталіз та нафтохімія. – 2020. – № 29. – С. 24-30.
3. Левтеров А. М. Покращення екологічних характеристик дизеля, що працює на біодизельних паливних композиціях / А. М. Левтеров, В. Д. Савицький // Автомобільний транспорт. – 2015. – № 36. – С. 110-117.
4. Журенко Ю. І. Біодизель - альтернативна заміна дизельного палива / Ю. І. Журенко, В. М. Яропуд, І. А. Бабин // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2012. – № 10 (58). – С. 44-51.
5. Корпач А.О. Дослідження впливу фізико-хімічних властивостей біодизельного палива на паливну економічність, енергетичні та екологічні показники автомобільного дизеля / А. О. Корпач, О.О. Левківський // Вісник ЖДТУ. – 2016. – № 2 (77). – С. 115-121.
6. Kryshchtopa S., Kryshchtopa L., Melnyk V., Prunko I., Demianchuk Y. Experimental research on diesel engine working on a mixture of diesel fuel and fusel oils. Transport Problems, 2017, 12 (2), P. 53–63.
7. Tang Zhang-Chun, Zhenzhou Lu, Zhiwen Liu, Ningcong Xiao. Uncertainty analysis and global sensitivity analysis of techno-economic assessments for biodiesel production. Bioresource Technology, 2015, Volume 175, Pages 502 – 508.

8. Gubicza Krisztina, Nieves Ismael U., Sagues William J., Barta Zsolt, Shanmugam K.T., Ingram, Lonnie O. Techno-economic analysis of ethanol production from sugarcane bagasse using a Liquefaction plus Simultaneous Saccharification and co-Fermentation process. *Bioresource Technology*, 2015, Volume 208, Pages 42 – 48.
9. Мельник В. М. Дослідження параметрів сумішо- і теплоутворення дизеля у процесі використання альтернативних палив / В. М. Мельник, М. М. Лях, М. М. Синоверський // *Нафтогазова енергетика*. – 2020. – №1 (33). – С. 109-123.
10. Левтеров А.М. Теоретичні дослідження робочого циклу біодизельного двигуна / А.М. Левтеров, А.Н. Авраменко, В.Д. Савицький // *Автомобільний транспорт*. – 2016. – №38. – С. 75-82.
11. Kirubakaran, M. and V.A.M. Selvan, A comprehensive review of low cost biodiesel production from waste chicken fat. *Renewable and sustainable energy reviews*, 82: p. 390-401(2018.)
12. Vonortas, A. and N. Papayannakos, Comparative analysis of biodiesel versus green diesel. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 3(1): p. 3-23(2014.)
13. Verma, P. and M. Sharma, Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. *Renewable and sustainable energy reviews*, 62: p. 1063-71(2016.)
14. Alptekin, E., M. Canakci, and H. Sanli. Methyl ester production from chicken fat with high FFA. in *World Renewable Energy Congress-Sweden*; 8-13 May; 2011; Linköping; Sweden. 2011. Linköping University Electronic Press.
15. Jansri, S., et al., Kinetics of methyl ester production from mixed crude palm oil by using acid-alkali catalyst. *Fuel processing technology*, 92(8): p. 1543-8(2011.)
16. Latif, M.A.A., et al. Nanostructure and oxidation properties investigation of engine using *Jatropha* biodiesel as engine fuel. in *MATEC Web of Conferences*. 2017. EDP Sciences.
17. Tziourtzioumis, D.N. and A.M. Stamatelos, Investigation of the effect of biodiesel blends on the performance of a fuel additive-assisted diesel filter system. *International Journal of Engine Research*, 15(4): p. 406-20(2014.)
18. Rouhany, M. and H. Montgomery, *Global Biodiesel Production: The State of the Art and Impact on Climate Change*, in *Biodiesel*. 2019, Springer. p. 1-14.
19. Mishra, V.K. and R. Goswami, A review of production, properties and advantages of biodiesel. *Biofuels*, 9(2): p. 273-89(2018.)
20. Živković, S. and M. Veljković, Environmental impacts the of production and use of biodiesel. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(1): p. 191-9(2018.)
21. Giakoumis, E.G., Analysis of 22 vegetable oils' physico-chemical properties and fatty acid composition on a statistical basis, and correlation with the degree of unsaturation. *Renewable energy*, 126: p. 403-19(2018.)
22. El-Gharbawy, A.S.A.A., *PRODUCTION OF BIODIESEL FROM NON EDIBLE VEGETABLE OIL*. 2016
23. Azizian, H. and J.K. Kramer, A rapid method for the quantification of fatty acids in fats and oils with emphasis on trans fatty acids using Fourier transform near infrared spectroscopy (FT- NIR). *Lipids*, 40(8): p. 855-67(2005.)
24. Balat, M., Potential alternatives to edible oils for biodiesel production—A review of current work. *Energy conversion and management*, 52(2): p. 1479-92(2011.)
25. Gui, M.M., K. Lee, and S. Bhatia, Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. *Energy*, 33(11): p. 1646-53(2008.)
26. Rincón, L., J. Jaramillo, and C. Cardona, Comparison of feedstocks and technologies for biodiesel production: An environmental and techno-economic evaluation. *Renewable Energy*, 69: p. 479-87(2014.)
27. Ambat, I., V. Srivastava, and M. Sillanpää, Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 90: p. 356-69(2018.)
28. Demirbas, A., Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats. *Energy conversion and management*, 49(1): p. 125-30(2008.)
29. Leung, D.Y., X. Wu, and M. Leung, A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied energy*, 87(4): p. 1083-95(2010.)
30. Likozar, B. and J. Levec, Transesterification of canola, palm, peanut, soybean and sunflower oil with methanol, ethanol, isopropanol, butanol and tert-butanol to biodiesel: Modelling of chemical equilibrium, reaction kinetics and mass transfer based on fatty acid composition. *Applied Energy*, 123: p. 108-20(2014.)

31. Demirbas, A., Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification. *Energy conversion and management*, 50(4): p. 923-7(2009.)
32. Elgharbawy, A.S.A.A., cost analysis for biodiesel production from waste cooking oil plant in Egypt. *International Journal of Smart Grid-ijSmartGrid*, 1(1): p. 16-25(2017.)
33. Elgharbawy, A.S., et al., Glycerolysis treatment to enhance biodiesel production from low-quality feedstocks. *Fuel*, 284: p. 118970(2021.)
34. Ramadhas, A.S., S. Jayaraj, and C. Muraleedharan, Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel*, 84(4): p. 335-40(2005.)
35. Van Gerpen, J., Biodiesel processing and production. *Fuel processing technology*, 86(10): p. 1097-107(2005.)
36. Atadashi, I., et al., Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(5): p. 3275-85(2012.)
37. Knothe, G., J.H. Van Gerpen, and J. Krahl, *The biodiesel handbook*. Vol. 1. 2005: AOCS press Champaign, IL.
38. Anderson, E., et al., Glycerin esterification of scum derived free fatty acids for biodiesel production. *Bioresource technology*, 200: p. 153-60(2016.)
39. Tan, H., A.A. Aziz, and M. Aroua, Glycerol production and its applications as a raw material: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 27: p. 118-27(2013.)
40. Kombe, G.G., et al., Pre-treatment of high free fatty acids oils by chemical re-esterification for biodiesel production—a review. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 2013(2013.)
41. Felizardo, P., et al., Study on the glycerolysis reaction of high free fatty acid oils for use as biodiesel feedstock. *Fuel Processing Technology*, 92(6): p. 1225-9(2011.)
42. Díaz, I., et al., Synthesis of MCM-41 materials functionalised with dialkylsilane groups and their catalytic activity in the esterification of glycerol with fatty acids. *Applied Catalysis A: General*, 242(1): p. 161-9(2003.)
43. Sani, Y., W. Daud, and A. Abdul Aziz, Biodiesel feedstock and production technologies: Successes, challenges and prospects. *Biodiesel-Feedstocks, Production, and Applications*, 10: p. 52790(2012.)
44. Gebremariam, S. and J. Marchetti, Economics of biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 168: p. 74-84(2018.)
45. Gnanaprakasam, A., et al., Recent strategy of biodiesel production from waste cooking oil and process influencing parameters: a review. *Journal of Energy*, 2013(2013.)
46. Bhuiya, M., et al., Second generation biodiesel: potential alternative to-edible oil-derived biodiesel. *Energy Procedia*, 61: p. 1969-72(2014.)
47. Pragma, N., K.K. Pandey, and P. Sahoo, A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae. *Renewable and sustainable energy reviews*, 24: p. 159-71(2013.)
48. Karmakar, A., S. Karmakar, and S. Mukherjee, Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. *Bioresource technology*, 101(19): p. 7201-10(2010.)
49. Riazi, M. and D. Chiaramonti, *Biofuels production and processing technology*. 2017: CRC Press.
50. Sumathi, S., S. Chai, and A. Mohamed, Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(9): p. 2404-21(2008.)
51. Demirbas, A., Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy policy*, 35(9): p. 4661-70(2007.)
52. Baskar, G. and R. Aiswarya, Trends in catalytic production of biodiesel from various feedstocks. *Renewable and sustainable energy reviews*, 57: p. 496-504(2016.)
53. Demirbas, A., et al., Biodiesel production from non-edible plant oils. *Energy Exploration & Exploitation*, 34(2): p. 290-318(2016.)
54. Banković-Ilić, I.B., O.S. Stamenković, and V.B. Veljković, Biodiesel production from non-edible plant oils. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(6): p. 3621-47(2012.)

REFERENCES

1. Melnyk V. M. Doslidzhennia osnovnykh tekhniko-eksploatatsiinykh kharakterystyk alternatyvnykh vydiv palyva dlia dyzelnnykh DVZ / V. M. Melnyk, T. Y. Voitsekhivska, A. R. Sumer // *Naukovi pratsi VNTU*. – 2018. – №2. – S. 1-13.

2. Yakovlieva A. V. Fizyko-khimichni vlastyivosti biodyzelnykh palyv na osnovi etylovykh esteriv ryzhiievoi olii / A. V. Yakovlieva, S. V. Boichenko, A. V. Hudz, S. O. Zubenko // *Kataliz ta naftokhimiia*. – 2020. – № 29. – S. 24-30.
3. Lievtierov A. M. Pokrashchennia ekolohichnykh kharakterystyk dyzelia, shcho pratsiuie na biodyzelnykh palyvnykh kompozytsiakh / A. M. Lievtierov, V. D. Savytskyi // *Avtomobilnyi transport*. – 2015. – № 36. – S. 110-117.
4. Zhurenko Yu. I. Biodyzel - alternatyvna zamina dyzelnoho palyva / Yu. I. Zhurenko, V. M. Yaropud, I. A. Babyn // *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*. – 2012. – № 10 (58). – S. 44-51.
5. Korpach A.O. Doslidzhennia vplyvu fizyko-khimichnykh vlastyvostei biodyzelnoho palyva na palyvnu ekonomichnist, enerhetychni ta ekolohichni pokaznyky avtomobilnoho dyzelia / A. O. Korpach, O.O. Levkivskiy // *Visnyk ZhDTU*. – 2016. – № 2 (77). – S. 115-121.
6. Kryshchop S., Kryshchop L., Melnyk V., Prunko I., Demianchuk Y. Experimental research on diesel engine working on a mixture of diesel fuel and fusel oils. *Transport Problems*, 2017, 12 (2), R. 53–63.
7. Tang Zhang-Chun, Zhenzhou Lu, Zhiwen Liu, Ningcong Xiao. Uncertainty analysis and global sensitivity analysis of techno-economic assessments for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 2015, Volume 175, Pages 502 – 508.
8. Gubicza Krisztina, Nieves Ismael U., Sagues William J., Barta Zsolt, Shanmugam K.T., Ingram, Lonnie O. Techno-economic analysis of ethanol production from sugarcane bagasse using a Liquefaction plus Simultaneous Saccharification and co-Fermentation process. *Bioresource Technology*, 2015, Volume 208, Pages 42 – 48.
9. Melnyk V. M. Doslidzhennia parametriv sumisho- i teploutvorennia dyzelia u protsesi vykorystannia alternatyvnykh palyv / V. M. Melnyk, M. M. Liakh, M. M. Synoverskyi // *Naftohazova enerhetyka*. – 2020. – №1 (33). – S. 109-123.
10. Lievtierov A.M. Teoretychni doslidzhennia robochoho tsykladu biodyzelnoho dvyhuna / A.M. Lievtierov, A.N. Avramenko, V.D. Savytskyi // *Avtomobilnyi transport*. – 2016. – №38. – S. 75-82.
11. Kirubakaran, M. and V.A.M. Selvan, A comprehensive review of low cost biodiesel production from waste chicken fat. *Renewable and sustainable energy reviews*, 82: p. 390-401(2018.)
12. Vonortas, A. and N. Papayannakos, Comparative analysis of biodiesel versus green diesel. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 3(1): p. 3-23(2014.)
13. Verma, P. and M. Sharma, Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. *Renewable and sustainable energy reviews*, 62: p. 1063-71(2016.)
14. Alptekin, E., M. Canakci, and H. Sanli. Methyl ester production from chicken fat with high FFA. in *World Renewable Energy Congress-Sweden*; 8-13 May; 2011; Linköping; Sweden. 2011. Linköping University Electronic Press.
15. Jansri, S., et al., Kinetics of methyl ester production from mixed crude palm oil by using acid-alkali catalyst. *Fuel processing technology*, 92(8): p. 1543-8(2011.)
16. Latif, M.A.A., et al. Nanostructure and oxidation properties investigation of engine using *Jatropha* biodiesel as engine fuel. in *MATEC Web of Conferences*. 2017. EDP Sciences.
17. Tziourtzioumis, D.N. and A.M. Stamatelos, Investigation of the effect of biodiesel blends on the performance of a fuel additive-assisted diesel filter system. *International Journal of Engine Research*, 15(4): p. 406-20(2014.)
18. Rouhany, M. and H. Montgomery, *Global Biodiesel Production: The State of the Art and Impact on Climate Change*, in *Biodiesel*. 2019, Springer. p. 1-14.
19. Mishra, V.K. and R. Goswami, A review of production, properties and advantages of biodiesel. *Biofuels*, 9(2): p. 273-89(2018.)
20. Živković, S. and M. Veljković, Environmental impacts the of production and use of biodiesel. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(1): p. 191-9(2018.)
21. Giakoumis, E.G., Analysis of 22 vegetable oils' physico-chemical properties and fatty acid composition on a statistical basis, and correlation with the degree of unsaturation. *Renewable energy*, 126: p. 403-19(2018.)
22. El-Gharbawy, A.S.A.A., *Production of biodiesel from non edible vegetable OIL*. 2016
23. Azizian, H. and J.K. Kramer, A rapid method for the quantification of fatty acids in fats and oils with emphasis on trans fatty acids using Fourier transform near infrared spectroscopy (FT- NIR). *Lipids*, 40(8): p. 855-67(2005.)

24. Balat, M., Potential alternatives to edible oils for biodiesel production—A review of current work. *Energy conversion and management*, 52(2): p. 1479-92(2011.)
25. Gui, M.M., K. Lee, and S. Bhatia, Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. *Energy*, 33(11): p. 1646-53(2008.)
26. Rincón, L., J. Jaramillo, and C. Cardona, Comparison of feedstocks and technologies for biodiesel production: An environmental and techno-economic evaluation. *Renewable Energy*, 69: p. 479-87(2014.)
27. Ambat, I., V. Srivastava, and M. Sillanpää, Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 90: p. 356-69(2018.)
28. Demirbas, A., Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats. *Energy conversion and management*, 49(1): p. 125-30(2008.)
29. Leung, D.Y., X. Wu, and M. Leung, A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied energy*, 87(4): p. 1083-95(2010.)
30. Likozar, B. and J. Levec, Transesterification of canola, palm, peanut, soybean and sunflower oil with methanol, ethanol, isopropanol, butanol and tert-butanol to biodiesel: Modelling of chemical equilibrium, reaction kinetics and mass transfer based on fatty acid composition. *Applied Energy*, 123: p. 108-20(2014.)
31. Demirbas, A., Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification. *Energy conversion and management*, 50(4): p. 923-7(2009.)
32. Elgharbawy, A.S.A.A., cost analysis for biodiesel production from waste cooking oil plant in Egypt. *International Journal of Smart Grid-ijSmartGrid*, 1(1): p. 16-25(2017.)
33. Elgharbawy, A.S., et al., Glycerolysis treatment to enhance biodiesel production from low-quality feedstocks. *Fuel*, 284: p. 118970(2021.)
34. Ramadhas, A.S., S. Jayaraj, and C. Muraleedharan, Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel*, 84(4): p. 335-40(2005.)
35. Van Gerpen, J., Biodiesel processing and production. *Fuel processing technology*, 86(10): p. 1097-107(2005.)
36. Atadashi, I., et al., Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(5): p. 3275-85(2012.)
37. Knothe, G., J.H. Van Gerpen, and J. Krahl, *The biodiesel handbook*. Vol. 1. 2005: AOCS press Champaign, IL.
38. Anderson, E., et al., Glycerin esterification of scum derived free fatty acids for biodiesel production. *Bioresource technology*, 200: p. 153-60(2016.)
39. Tan, H., A.A. Aziz, and M. Aroua, Glycerol production and its applications as a raw material: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 27: p. 118-27(2013.)
40. Kombe, G.G., et al., Pre-treatment of high free fatty acids oils by chemical re-esterification for biodiesel production—a review. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 2013(2013.)
41. Felizardo, P., et al., Study on the glycerolysis reaction of high free fatty acid oils for use as biodiesel feedstock. *Fuel Processing Technology*, 92(6): p. 1225-9(2011.)
42. Díaz, I., et al., Synthesis of MCM-41 materials functionalised with dialkylsilane groups and their catalytic activity in the esterification of glycerol with fatty acids. *Applied Catalysis A: General*, 242(1): p. 161-9(2003.)
43. Sani, Y., W. Daud, and A. Abdul Aziz, Biodiesel feedstock and production technologies: Successes, challenges and prospects. *Biodiesel-Feedstocks, Production, and Applications*, 10: p. 52790(2012.)
44. Gebremariam, S. and J. Marchetti, Economics of biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 168: p. 74-84(2018.)
45. Gnanaprakasam, A., et al., Recent strategy of biodiesel production from waste cooking oil and process influencing parameters: a review. *Journal of Energy*, 2013(2013.)
46. Bhuiya, M., et al., Second generation biodiesel: potential alternative to-edible oil-derived biodiesel. *Energy Procedia*, 61: p. 1969-72(2014.)
47. Pragna, N., K.K. Pandey, and P. Sahoo, A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae. *Renewable and sustainable energy reviews*, 24: p. 159-71(2013.)
48. Karmakar, A., S. Karmakar, and S. Mukherjee, Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. *Bioresource technology*, 101(19): p. 7201-10(2010.)
49. Riazi, M. and D. Chiaramonti, *Biofuels production and processing technology*. 2017: CRC Press.

50. Sumathi, S., S. Chai, and A. Mohamed, Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(9): p. 2404-21(2008.)
51. Demirbas, A., Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy policy*, 35(9): p. 4661-70(2007.)
52. Baskar, G. and R. Aiswarya, Trends in catalytic production of biodiesel from various feedstocks. *Renewable and sustainable energy reviews*, 57: p. 496-504(2016.)
53. Demirbas, A., et al., Biodiesel production from non-edible plant oils. *Energy Exploration & Exploitation*, 34(2): p. 290-318(2016.)
54. Banković-Ilić, I.B., O.S. Stamenković, and V.B. Veljković, Biodiesel production from non-edible plant oils. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(6): p. 3621-47(2012.)

M. Hnyr. Research of the main technical and operational indicators of the D21F1 engine in the process of using SME-based biodiesel fuel

Currently, in the field of alternative fuels, there is a constant increase in their production. In Europe and the world, increasingly stringent environmental standards are being introduced (Euro 6, from 2025 Euro 7), the application of which imposes requirements on cars and motor fuels that increase their environmental safety. However, most alternative fuels cannot be considered as ready-to-use motor fuels by themselves. This is due to the fact that the operational and environmental properties of most alternative fuels do not correspond to the properties of commercial fuels. This problem can be solved in two main ways:

- 1) improving the properties of alternative fuels by refining and purifying them;
- 2) using mixtures of alternative fuels with commercial fuels in certain ratios that will not harm either the engine or the environment.

A lot of attention from scientists is paid to the study of rapeseed-based biodiesel. Of the plants suitable for biofuel production, the largest sown area in Ukraine is wheat and sunflower. Spring and winter rapeseed, soybeans, corn and sugar beets are also grown. Almost all of these plants, except soybeans and wheat, pose a danger to the soil. Therefore, based on the above, soybeans are more promising for obtaining biodiesel fuel.

Before starting the study of the load characteristics of the D21A1 diesel engine, the gearshift lever of the gearbox was set to direct transmission (fourth gear).

The diesel engine was tested according to the load characteristics when changing the engine speed from 800 to 2000 rpm.

Before the start of the tests, the diesel engine was warmed up to an oil temperature of at least 40°C.

Keywords: diesel engine, biodiesel, efficiency, fuel efficiency, engine power.

ГНІП Марія Михайлівна, доктор філософії, доцент кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, E-mail: marichka_gnip@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3662-0941>

HNYP Mariia, PhD, Associate Professor at the Department of Automotive Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, E-mail: marichka_gnip@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3662-0941>

Дата надходження статті до видання: 21.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.04.2026

<https://doi.org/10.36910/8fnhh504>