

повинен раціонально використовувати всі три режими врахування помпажа відцентрового компресора в залежності від поставленого завдання, віддаючи перевагу режиму «стабілізації» при початковому налаштуванні математичної моделі і режиму локального помпажа для перевірки вірогідності виникнення помпажа. У той же час необхідні додаткові дослідження в області коректного моделювання роботи компресора в умовах помпажа.

Ключові слова: відцентровий компресор; помпаж; моделювання двигуна внутрішнього згорання; характеристики компресора

ПРИМЕНЕНИЕ КАРТ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Д. С. Минчев, Р. А. Варбанец

Моделирование рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания с наддувом невозможно без корректной оценки параметров работы агрегата наддува. Стандартным является подход, при котором используются специально подготовленные карты характеристик компрессора и турбины турбокомпрессора, полученные на основе экспериментальных данных или данных, представленных производителями. Интерполяция, экстраполяция и обработка карт характеристик центробежного компрессора является достаточно непростой задачей, так как необходимо обеспечить корректный учет работы компрессора в таких специфических зонах его работы, как вблизи границы запыриания, вращающегося срыва и в режимах помпажа. При этом необходимо обеспечить быстрое и стабильное выполнение расчета рабочего цикла. Blitz-PRO – программный сервис для расчета рабочего цикла двигателей внутреннего сгорания, доступный онлайн – предлагает возможность подготовки и использования карт характеристик агрегатов наддува. При этом доступны три различные режима учета работы центробежного компрессора в условиях помпажа: 1) полномасштабный помпаж на основе подходе, предложенных Ф. К. Моого и Е. М. Greitzer; 2) мелкомасштабный помпаж с возможностью гибкой настройки; 3) режим «стабилизации», при котором явление помпажа компрессора исключается путем экстраполяции расходной характеристики компрессора от точки возникновения срыва в сторону уменьшения расхода воздуха с использованием гиперболического уравнения. В качестве примера рассматривается режим работы двигателя MAN 8G70ME-E (точка 12140 кВт при 82 мин⁻¹ по винтовой характеристике) со сравнением результатов расчетов для трех методов учета работы компрессора в условиях помпажа. Режим «стабилизации» обеспечивает наиболее быстрый и стабильных расчет, в то время как режим учета полномасштабного помпажа может в ряде случаев характеризоваться численной (нефизической) неустойчивостью расчетов, что объясняется высокой чувствительностью двухтактных малооборотных двигателей к параметрам процессов газообмена. Использование режима мелкомасштабного помпажа позволяет добиться высокой скорости и стабильности расчетов при одновременном учете явления помпажа, что является достаточно разумным компромиссом. Исследователь должен рационально использовать все три режима учета помпажа центробежного компрессора в зависимости от поставленной задачи, отдавая предпочтение режиму «стабилизации» при начальной настройке математической модели и режим мелкомасштабного помпажа для проверки вероятности возникновения помпажа. В тоже время необходимы дополнительные исследования в области корректного моделирования работы компрессора в условиях помпажа.

Ключевые слова: центробежный компрессор; помпаж; моделирование двигателя внутреннего сгорания; характеристики компрессора.

УДК 621.436:621.43

DOI: 10.20998/0419-8719.2021.1.03

В.М. Бганцев

НАУКОВІ ПРИНЦИПИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОПАЛИВ

Використання палив біологічного походження на основі рослинних олій та іншої аналогічної сировини в дизельних двигунах в розвинених країнах дозволяє зменшити витрати мінерального дизельного палива та покращити стан оточуючого середовища. Це питання актуально і для України, у зв'язку з чим керівними органами йому приділяється велика увага. Поглиблення знань у вивченні особливостей протікання робочих циклів дизелів, їх потужнісних та токсичних характеристик при цьому сприяє оптимізації використання цих видів палива. В наведеній роботі розглянуті основні питання, пов'язані з використанням в якості біологічної складової палива рослинних олій, таких як соняшникова, ріпакова, кукурудзяна та їх етилових ефірів як у чистому вигляді так і в суміші з мінеральним дизельним паливом. Розглянуто питання з теоретичних та експериментальних даних, пов'язаних з використанням цих палив в дизельних двигунах. Експериментальні дослідження проводились на дизельних двигунах Д21А та чотирициліндровому – Шкода – аналогу двигуна Volkswagen об'ємом 1,9 л з турбонаддувом. Економічні і токсичні харктеристики одержували за навантажувальними та швидкісними характеристиками. Спостерігається збільшення витрат сумішевого палива у порівнянні з мінеральним паливом, токсичні характеристики за деякими показниками були кращі, в деяких випадках, наприклад при роботі на підвищених потужностях, позіриувались відносно показників при роботі на мінеральному паливі. Сформульовано основні принципи ефективного використання біопалив в транспортних дизелях з енергетичних, токсичних показників, а також корозійного впливу сумішевих біопалив на паливну апаратуру. На сьогодні автотранспортні станції в Україні продають як альтернативні тільки палива для бензинових двигунів. Це суміші в різних пропорціях бензину і біоетанолу з вмістом останнього до 35–40% за об'ємом.

© В.М. Бганцев, 2021

ISSN 0419-8719 ДВИГУНИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ 1'2021

15

Ціна такого палива нижча ніж за бензин. Біодизельних палив в продажу немає, хоча вони також коштують менше ніж мінеральне дизпаливо. Вероятно, що застосування біодизельних палив стримується за причин необхідності адаптації дизельного двигуна до цих палив і контролю стану паливної апаратури. Однак ці витрати невеликі і можуть легко компенсуватися різницею в ціні мінерального і біодизельного палива. Можна припустити, що в першу чергу біодизельне паливо буде впроваджуватися в сільськогосподарській техніці.

Ключові слова: рослинні олії; дизельне паливо; паливо біологічного походження; паливна система.

Вступ

Стратегія суттєвого скорочення викидів шкідливих речовин та парникових газів енергогенеруючими установками з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), а також значного поширення використання різних видів палив, отриманих з сировини біологічного походження, палив з побічних продуктів хімічної та нафтохімічної промисловості, водню, прийнята практично в усьому світі, у тому числі і в Україні. Велика увага приділяється керівними органами України прискореному впровадженню альтернативних моторних палив в енергетичний комплекс України [1]. Передбачалось, що ці заходи дозволять у наступних роках збільшити у структурі енергетичного балансу держави до 1 % частки енергоносіїв, отриманих з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива. В розвинених країнах Європи цей показник становить від 10 % до 15 %. У цих же країнах використання біопалив (біоетанолу, біодизельного палива (БДП) та біогазу) у 2020 році очікувалося в обсязі 8 % від загального споживання палив [2]. В умовах практично значної залежності від імпорту нафти і газу та значного забруднення довкілля викидами енергетичного виробництва, Україна повинна шукати альтернативні джерела для забезпечення країни паливноенергетичними ресурсами, які б були екологічно чистими та не залежали від зовнішніх постачачів сировини. Одним із шляхів вирішення цього завдання є розвиток виробництва біопалива.

Для дизельних двигунів у світовій практиці позначилися основні технології виробництва біопалив, однією з яких є переестерифікація рослинних олій та тваринних жирів.

В розвинених країнах ЄС та США в якості альтернативних дизельних палив використовуються метилові ефіри жирних кислот ріпакової та соєвої олії або у чистому вигляді, або як 5–35 % добавки до традиційного дизельного палива (ДП). Використовують біопаливо, яке виробляється з різних рослинних культур. Серед них ріпак займає найважливіше місце. Використання ріпаку як сировини для виробництва альтернативного палива в Україні можливо в двох напрямках – власне виробництво біодизельного палива або експортування ріпаку, що вирощується, в західні країни. При цьому Україна одержує тверду валюту. Економічний аналіз

схиляється на більш вигідніший варіант – це продаж ріпакового насіння на зовнішньому ринку. Виготовлення власного біодизельного палива економічно не вигідно. На той час Україна вирощувала близько 200 тис. тонн зерна ріпаку, який використовувався в промислових потребах. Але було можливо в майбутньому довести валовий збір насіння до 1,0–1,5 млн. тонн і таким чином створювати нові робочі місця, підвищуючи спроможність вітчизняного виробника на усіх торгівельних паливних ринках. Першочерговими завданнями ріпаківництва є розробка і впровадження нових технологій виробництва й переробки ріпаку, розробка нової та модернізація існуючої техніки для його посіву і збирання, а також одержання високих врожаїв насіння цієї культури [3].

Соєва олія для України є менш привабливою сировиною, тому що продуктом переробки її є шрот, який потребує ринків збуту для нього. Соняшникова олія на той час була дорогою основою в українських умовах. З урахуванням того, що нафта в Україну імпортується за тверду валюту, а соняшникову олію на внутрішньому ринку купують за слабку гривню, в умовах подальшої девальвації ситуація може змінитися. В результаті можна передбачити, що для виробництва біодизеля сировиною міг би стати ріпак з вкладанням виробником в галузь істотних інвестицій.

Порівняльна оцінка ефективності різних технологій переробки біомаси наведено в [4]. Зазначено, що технології виробництва біоетанолу та біодизеля досить непривабливо виглядають по співвідношенню корисної енергії в продукті і витраченої енергії на вирощування сировини та виробництво біопалива. Цей показник коливається зазвичай близько 1,5, тоді як, наприклад, для технологій спалювання біомаси в котлах він становить 8–10, а для біогазових технологій 2–6.

Тобто технології отримання рідких палив не є досить привабливими за енергетичним критерієм і розглядаються в багатьох країнах як прихована форма підтримки сільського господарства. Видається, що позитивного з енергетичної точки зору результату можна досягнути лише в окремих випадках за певних умов, наприклад, при використанні сировини у вигляді відходів, що підлягають утилізації.

В подальшому в рамках гармонізації законодавства України з нормами ЄС та Енергетичного Співтовариства передбачається введення податку на альтернативні палива. Але навіть з цим податком використання альтернативних палив для ДВЗ має переваги у порівнянні з паливами нафтового походження.

Аналіз попередніх досліджень

У разі переведення дизеля на живлення біодизельними паливними композиціями постає суттєва проблема – вплив фізико-хімічних властивостей біологічної складової цих композицій на стабільність функціонування елементів паливної системи. Важливість проблеми підкреслюється тим, що властивості біопалива (ефірів рослинних олій) дещо відрізняються від властивостей нафтового палива [5]. Біологічне паливо, особливо з низьким ступенем очищення (присутність залишкового спирту та ін.), може спричинити до виходу з ладу прецизійних пар паливного насоса високого тиску, коксування розпилювачів форсунок, більш швидкого блокування паливних фільтрів [6].

Серед найбільш прийнятних для виготовлення БДП використовують рапсову, соняшникову, кукурудзяну, пальмову олії. У різних державах обирають найбільш прийнятну олію в залежності від умов вирощування того чи іншого виду рослин.

Для живлення дизелів використовують чисті олії, суміші їх метилових та етилових ефірів з дизельним паливом. Чисті олії практично ніхто не використовує в зв'язку з їх високою в'язкістю і надмірною залежністю її від температури.

Сумішеві БДП за своїми енергетичними та фізико-хімічними характеристиками відрізняються від ДП, тому паливна система потребує налаштування з метою стабілізації її функціонування. В цілому відомо, що прецизійні пари є ресурсовизначальними елементами паливної апаратури дизеля. В результаті досліджень в роботі [7] вивчено досвід використання сумішевого мінерально-рослинного палива як альтернативного для тракторних дизелів. Зроблено висновок, що виходячи із необхідності збереження працездатності паливної апаратури раціональною композицією слід вважати вміст в сумішевому мінерально-рослинному паливі до 30 % ріпакової олії (за об'ємом) і 70 % мінерального ДП.

Досвід експлуатації суднових дизелів на БДП в США, Франції, Німеччині, проект переведення на цей вид палива ряду невеликих круїзних і пасажирських суден, успішно реалізований урядом Канади в 2004 році в провінції Квебек, вказують на значний інтерес до цього виду палива на державному рівні в ряді країн світу [8].

БДП можливо використовувати в існуючих двигунах і паливній системі без значного негативного впливу на робочі характеристики, можливе застосування штатної паливної системи збереження і підготовки, такої ж, як і для дизпалива. Суміші БДП з ДП в малих пропорціях (до 5 %) не впливають на характеристики паливної системи і робочі показники двигуна.

П'ятивідсоткова добавка біопалива до мінерального палива визначається всіма автовиробниками нешкідливою для довговічності моторів [9]. Метилловий ефір ріпакової олії (МЕРО), як компонент сумішевого палива з біодобавкою, є хімічно активною речовиною щодо до деталей паливних систем і двигунів, що призводить до їх корозії та виходу з ладу в кінцевому випадку. Тому його вміст в сумішевому паливі як біодобавки обмежено 5-ма відсотками. В країнах Євросоюзу вважається закономірним змішування 5 % біологічних добавок з мінеральним дизпаливом без попередження покупців, що купують паливо на АЗС.

Вплив властивостей БДП на процеси впорскування та згоряння наведені в [10]. Більша ніж у ДП в'язкість продуктів переробки рослинних олій призводить до збільшення далекобійності паливного факела. В зв'язку з чим зменшується частка об'ємного сумішеутворення, більша частина палива потрапляє на стінки камери згоряння. Окрім цього, зменшується кут розпилювання паливного факела, збільшується середній діаметр крапель. Зростання поверхневого натягу МЕРО по відношенню до дизельного палива на 14 % є причиною збільшення неоднорідності розпилювання палива. В зв'язку зі зростанням щільності МЕРО по відношенню до ДП на 6 % збільшується максимальний тиск перед форсуною, переміщується у бік збільшення дійсний момент початку впорскування палива.

В публікації [11] зазначено, що БДП застосовують в основному для дизелів, працездатність яких визначається технічним станом паливної апаратури. Є відомості, що перехід на паливо рослинного походження з більш високою в'язкістю дозволяє продовжити термін роботи двигунів, навіть за умов значного зносу плунжерних пар паливного насоса.

Розглядається питання використання кукурудзяної олії (КО) як БДП [12]. Фізико-хімічні властивості КО суттєво відрізняються від аналогічних властивостей ДП. Більш важкий фракційний склад КО визначає його підвищену густину та в'язкість.

КО має декілька меншу питому масову теплоту згоряння в порівнянні з ДП, що пов'язано з присутністю в молекулах жирних кислот КО значної кількості атомів кисню (масова частка 11 %). Слід

зазначити і декілька гірше samozапалювання КО в умовах камери згоряння дизеля. КО більш схильна до коксування в таких умовах, що може призвести до значного відкладання коксу на стінках камери згоряння й розпилювачах форсунок. З урахуванням негативних якостей КО найбільш привабливе її застосування як моторного палива для роботи дизеля на сумішах з ДП з великим вмістом останнього.

Експериментальний аналіз фізико-хімічних властивостей зразків біодизельного палива показав, що в теперішній час метилові ефіри рослинних олій, що синтезуються, не в повному обсязі відповідають вимогам до палива дизельних двигунів [13]. Більш висока густина і в'язкість БДП призводить до збільшення тиску та погіршення показників впорскування, високе йодне число свідчить про присутність в молекулах палива реакційноспроможних кратних зв'язків, що сприяє перебігу небажаних реакцій при зберіганні палива та скорочує термін зберігання. Підвищена кислотність збільшує корозійну агресивність. БДП має високу спорідненість до гумових матеріалів (підвищення об'ємних розмірів до 38 %), а також гідрофільність (0,23 %) в порівнянні з нафтовим. Тому в теперішній час БДП використовується тільки як компонент товарного палива (5 % за об'ємом).

В теперішній час випускається сумішеве паливо під загальною європейською назвою E-diesel, яке є сумішшю ДП з етанолом і присадками. Лідером в використанні етанолу у складі нафтового ДП є Швеція [14]. Найбільш вживаним E-diesel є суміш із звичайного ДП, 7 – 10 % етанолу та 1 – 2 % антикорозійних, стабілізуючих і цетанопідвищуючих присадок. Для використання таких палив не потрібно вносити конструктивні зміни до дизельного двигуна. Шведський автовиробник Scania адаптував два своїх дизельних двигуна під паливо, яке вміщує 90 % етанолу. В зв'язку з цим було замінено деталі паливних насосів і форсунок, а також застосовано стійкі до етанолу ущільнення. Аналог E-diesel випускається в США під маркою 02Diesel.

Адаптована паливна система має у своєму складі підігрівач сумішевого палива до температури 65 – 70 °С. Таким чином досягається необхідна в'язкість БДП для можливості його фільтрації та подавання паливним насосом і форсунками у камери згоряння дизеля. Підігрів БДП є обов'язковим для його використання, особливо при низьких температурах оточуючого середовища. При підігріві БДП від 20 °С до 50 °С його в'язкість зменшується приблизно на 50 %.

З метою захисту елементів паливної апаратури дизеля від високої хімічної активності МЕРО в [15]

рекомендується забезпечити стійке покриття всіх компонентів паливної системи. Для створення якісних сумішей МЕРО с ДП пропонуються установки торгової марки Globe Core. Це обладнання розроблено спеціально для змішування від двох до п'яти початкових компонентів. В установках досягається стійкий стан одержаного палива протягом як мінімум 180 днів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Літературний огляд показав, що на сьогодні актуальним питанням використання біопалив в дизелях є підвищення надійності функціонування паливної апаратури при роботі на цих видах палива. Зниження потужності дизеля, якщо використовується несумішеве біопаливо теж потребує прийняття необхідних заходів щодо налаштувань паливної апаратури з метою форсування двигуна.

Формулювання мети статті

Мета дослідження – з урахуванням світового досвіду використання біопалив в дизелях та одержаних в процесі дослідження експериментальних даних сформулювати основні принципи ефективного використання біопалив в Україні.

Для цього вирішувались такі задачі:

- літературний огляд світового досвіду використання біопалив для дизелів в різних країнах;
- визначення основних властивостей біопалив для дизелів та порівняння їх із властивостями звичайних дизельних палив;
- проведення експериментальних досліджень показників роботи транспортного дизеля на чистих біодизельних паливах та сумішевих із звичайним дизельним паливом;
- оцінка впливу, в тому числі корозійного, БДП на основні елементи паливної системи дизеля;
- розробка рекомендацій щодо використання БДП в транспортних двигунах та підвищення надійності їх роботи.

При проведенні експериментальних досліджень використовувався транспортний дизель Д21А потужністю 18,5 кВт при частоті обертання колінчастого валу 1800 хв⁻¹. БДП представлені у вигляді спиртових ефірів соняшникової, ріпакової та кукурудзяної олій. Сумішеві палива одержували шляхом змішування у різних пропорціях чистих БДП із звичайним дизельним паливом.

Методика проведення дослідження

Об'єктом досліджень є дизельний двигун широкого призначення Д21А (2Ч 10,5/12). Програмою експериментальних досліджень передбачалось підвищення літрової потужності шляхом збільшення енергонаповнення циліндрів біодизельного двигуна до рівня потужності дизельного прототипу та ви-

значення впливу цього підвищення на економічні і екологічні показники за використання різних паливних композицій. Біологічна складова сумішевого палива синтезована за оригінальною гомогенною технологією етанольної переестерифікації рапсової олії у Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України. Мінеральна складова – дизельне паливо підвищеної якості (Євро) марки С виду І за ДСТУ 4840:2007 [16].

Для досліджень обрані суміші з концентрацією біопалива 60; 80; 100 %, а в якості еталону використовується паливо без вмісту біологічної складової (нафтове дизельне паливо).

Оцінювання результатів підвищення потужності здійснювалось шляхом отримання зовнішніх швидкісних характеристик, а для визначення економічних та екологічних наслідків цього підвищення додатково знімалися навантажувальні та характеристики холостого ходу двигуна для всіх обраних видів сумішевого палива, включаючи паливо з вмістом біологічної складової 0 %. У якості критеріїв оцінки потужнісних та економічних показників використовуються наступні параметри:

- ефективна потужність двигуна, N_e ;
- крутильний момент, M_k ;
- ефективний ККД, η_e ;
- витрата палива, G_p .

Для оцінювання екологічних показників визначався вміст у відпрацьованих газах (ВГ):

- оксидів азоту, NO_x ;
- оксиду вуглецю, CO ;
- діоксиду вуглецю, CO_2 ;
- вуглеводнів, що не згоріли, CH ;
- твердих часток (димність), D .

Методично сформульовані програмою завдання розв'язувалися наступним чином.

За штатних налаштувань максимальної циклової подачі палива насосом високого тиску знімалася серія характеристик двигуна, яка складається з зовнішньої швидкісної, трьох навантажувальних та характеристики холостого ходу з отриманням потужнісних, економічних і екологічних показників.

Характеристики знімалися для усіх обраних до огляду паливних сумішей: 0; 60; 80; 100% за вмісту біопалива.

Важливим етапом роботи було встановлення можливості підвищення номінальної потужності двигуна на суміші з вмістом біопалива 60%, що відповідає дизельному прототипу. Для цього в ході випробувань поступово підвищували максимальну циклову подачу паливним насосом високого тиску до досягнення потужності базового дизельного двигуна. Частота обертання при цьому складала $n=1600$ хв⁻¹. Далі знімалася тільки зовнішня швидкіс-

на характеристика двигуна з підвищеним енергонаповненням. Навантажувальні та характеристика холостого ходу залишалися без змін, тому що підвищення максимальної циклової дози палива не впливає на роботу за частковими швидкісними і навантажувальними режимами.

Теж саме повторювалося для сумішевого палива з вмістом біологічної складової 80 % та 100 %. Що стосується набору характеристик, які входять до зазначеної вище серії, то необхідно відзначити наступне. Зовнішня швидкісна характеристика знімалася при положенні важеля керування паливного насоса високого тиску на максимальній подачі при зміні частоти обертання колінчастого валу в діапазоні від $n = 1000$ хв⁻¹ до $n = 1600$ хв⁻¹ з інтервалом 200 хв⁻¹.

В ході досліджень з різними складами сумішевого палива також при фіксованих частотах обертання колінчастого валу – 1200; 1400; 1600 хв⁻¹ були одержані навантажувальні характеристики. Навантажувальні характеристики знімалися шляхом послідовного збільшення подачі палива у межах зміни навантаження від нуля до величини, що відповідає повній подачі, а у якості змінного параметру приймався середній ефективний тиск (навантаження на двигун).

Характеристики холостого ходу одержали у діапазоні від $n = 1600$ хв⁻¹ до мінімально сталої частоти обертання з попередньо прийнятим інтервалом.

Такий набір характеристик (зовнішня швидкісна, три навантажувальні та характеристика холостого ходу) охоплює значну частину поля найбільш характерних експлуатаційних режимів роботи двигуна, що й дозволяє отримати достовірні інтегральні екологічні характеристики. Це стосується використання сумішевого біодизельного палива як за базових налаштувань циклової подачі паливного насоса високого тиску, так і за підвищеного енергонаповнення циліндрів двигуна.

Отримані на моторному стенді експериментальні характеристики для сумішевих палив різноманітного складу підлягали порівняльному аналізу лише після приведення їх до стандартних атмосферних умов.

Порівняльні експериментальні дослідження двигуна Д21А виконувались на моторному стенді з електробалансирним динамометром типу DS 742–4/N (надалі стенд).

Виклад основного матеріалу та одержаних наукових результатів

Ефективність використання біодизельних палив на основі ріпакової олії та рослинних олій іншого походження проявляється в тому, що вони

дозволяють не тільки замінити мінеральні палива, а і значно покращити екологічні показники дизелів, що їх використовують. Але недоліком такого використання є те, що при вмісті біологічної складової більше 50 % за об'ємом потужнісні показники дизелів помітно погіршуються [6].

У відділі поршневих енергоустановок Інституту проблем машинобудування НАН України проводились порівняльні експериментальні дослідження показників транспортного дизеля з використанням мінерального палива і сумішевих біопалив з різним вмістом біологічної складової.

Результати, що отримані при стендових моторних дослідженнях, викладених в [17], [18] можна охарактеризувати наступним чином. Якщо сумішеві біодизельні палива готуються з використанням мінерального дизельного палива підвищеної якості, паливна система дизельного двигуна не потребує корекції налаштувань.

Екологічні показники дизеля оцінювались при стендових випробуваннях за зовнішніми швидкісними, навантажувальними та характеристиками холостого ходу на сумішевих біопаливах різного складу.

Основні результати виглядають наступним чином:

- при роботі дизеля на сумішевих біопаливах у відпрацьованих газах зменшується вміст оксиду та діоксиду вуглецю і спостерігається суттєве зменшення емісії оксидів азоту (до 20 %) при роботі на чистому біопаливі;

- сумішеве паливо сприяє також зменшенню викидів незгорілих вуглеводнів. Встановлено, що при вмісті в суміші 20 % біологічної складової вміст СН падає на 32 % в зрівнянні з мінеральним паливом. При подальшому збільшенні вмісту біологічної складової зменшення викидів припиняються;

- спостерігається зменшення димності відпрацьованих газів при збільшенні концентрації біологічної складової. Вона досягає до 39 % при співвідношенні компонентів сумішевого біопалива (біологічне+мінеральне) 80 до 20. При стовідсотковому біопаливі димність знижується тільки до 1,5 %.

Із збільшенням вмісту біологічної складової у сумішевому паливі спостерігається таке негативне явище, як погіршення потужнісних та економічних показників дизеля. Як приклад номінальна ефективна потужність зменшується на 7 %, значення максимального крутильного моменту – на 4 %, ефективного ККД – на 8 % при роботі дизеля на стовідсотковому біопаливі в порівнянні з мінеральним паливом.

Досліджувались шість видів сумішевого палива за об'ємної частки біопалива від 0 % до 100 % з інтервалом 20 %. Для сумішей з двадцяти- та сорокавідсотковим вмістом біологічної складової падіння номінальної ефективної потужності не перевищує 3 %, що в експлуатації може залишитись непомітним. Та вже за 60 % біопалива в суміші зниження потужності складає майже 5 % і перевищує 7 % для сумішевого палива без мінеральної складової. Такі обставини дозволили знизити кількість досліджень сумішевого палива до чотирьох з об'ємною часткою біопалива 0; 60; 80; 100 % за мети підвищення ефективної потужності дизеля.

Цетанове число як стандартного дизельного палива підвищеної якості (Євро), так і усіх сумішевих, включаючи паливо з вмістом біологічної складової 100 %, є практично однаковим (близько 51). Тому оптимізований для мінерального палива кут випередження впорскування (θ) залишався незмінним під час роботи на сумішевих паливах. Першу серію характеристик – зовнішню швидкісну, три навантажувальних (за частот обертання колінчастого валу 1200; 1400; 1600 хв⁻¹) та характеристику холостого ходу знімали при штатних налаштуваннях паливного насоса. Це стандартний умовний цикл випробувань дизеля широкого призначення.

Дані, отримані із зовнішніх характеристик двигуна Д21А, які відображені на рис. 1, вказують що при збільшенні об'ємної частки біопалива ($v_{б.п.}$) у сумішевому паливі зменшується ефективна потужність ($N_{е_{ном}}$) та максимальний крутильний момент ($M_{к_{max}}$), відповідно на 6 % та 4 % в порівнянні з використанням дизельного палива. Основні причини – це зменшення енергонаповнення циліндрів двигуна та зниження ефективного коефіцієнта корисної дії (η_e) із збільшенням $v_{б.п.}$. Пояснюються ці явища зміною швидкості згоряння біопалива у порівнянні з нафтовим паливом при однакових значеннях цетанових чисел та кута випередження впорскування. Однак на номінальному режимі це зниження складає не більше 3 % для палива, що містить 100 % біологічної складової [19].

Підвищити номінальну ефективну потужність двигуна можливо за рахунок збільшення максимальної циклової подачі палива при частоті обертання колінчастого валу $n = 1600$ хв⁻¹ і досягти потужності базового дизеля. Тому в подальшому була знята зовнішня швидкісна характеристика при відповідному налаштуванні паливного насоса високого тиску.

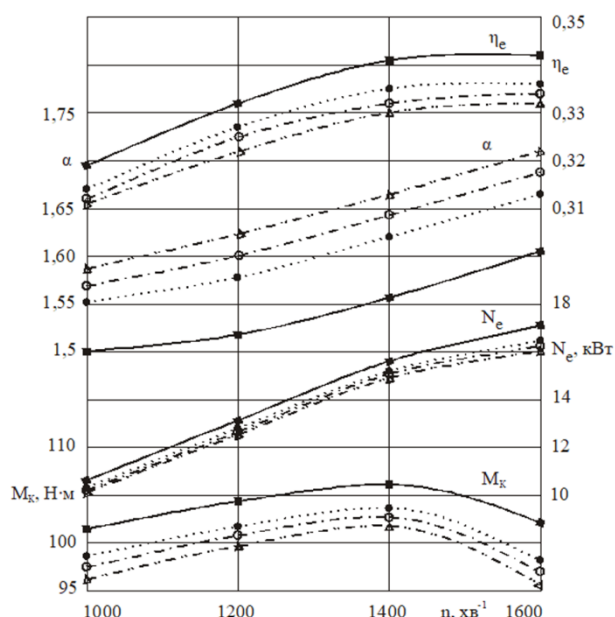


Рис. 1. Зовнішні швидкісні характеристики двигуна Д21А (штатні налаштування паливного насосу):

- — 100 % диз. палива;
-●..... — 60 % біопалива;
- - -○- - - — 80 % біопалива;
- - -▲- - - — 100 % біопалива

Також аналогічні показники були отримані при 80 % та 100 % біопалива у сумішевому паливі. Зовнішні швидкісні характеристики з індивідуальним налаштуванням паливного насоса для кожного виду сумішевого палива наведені на рис. 2. Для усіх досліджуваних паливних композицій, включаючи еталонну – суто мінеральне дизельне паливо, спостерігається ідентичність закономірностей змінення не тільки ефективної потужності, а і крутільного моменту та коефіцієнту надлишку повітря. І лише коефіцієнт корисної дії для кожного виду сумішевого палива зберіг індивідуальні значення, які практично співпали з тими, що спостерігались під час отримання зовнішніх швидкісних характеристик за штатних налаштувань паливного насоса. Таким чином, за рівності ефективної потужності відставання ефективного ККД біодизельного двигуна на номінальному режимі від η_e дизельного прототипу залишається тим же – близько 3 %.

Що стосується забруднення довкілля при підвищенні потужності дизеля на сумішевих паливах, то воно практично не змінилося в порівнянні із штатним налаштуванням системи впорскування за роботи двигуна без максимального навантаження.

Погіршення екологічних показників дизеля на біопаливі проявляється при роботі за зовнішніми швидкісними характеристиками с підвищеними цикловими подачами палива.

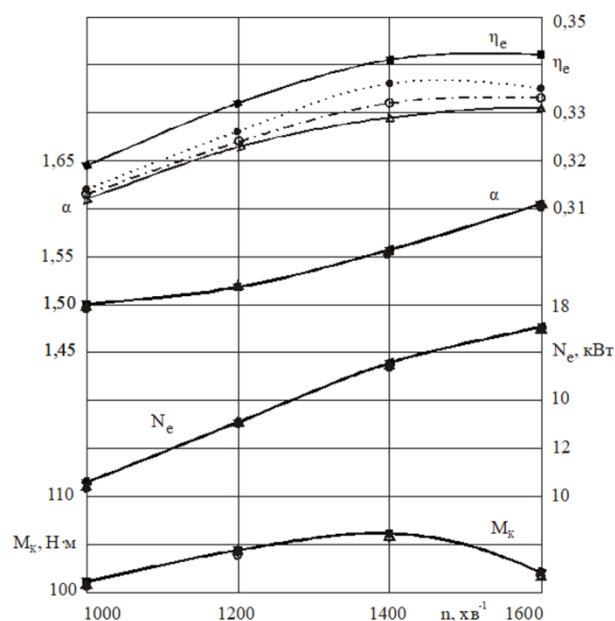


Рис. 2. Зовнішні швидкісні характеристики двигуна Д21А (підвищена циклова подача палива):

- — 100 % диз. палива;
-●..... — 60 % біопалива;
- - -○- - - — 80 % біопалива;
- - -▲- - - — 100 % біопалива

В ході експериментальних досліджень в таких випадках спостерігалось зростання викидів оксидів азоту до 6 %, оксиду вуглецю – до 2,5 разів, незгорілих вуглеводнів – до 17 % (рис. 3), а діоксиду вуглецю – до 7,5 % (рис. 4). Найбільш вражаючим є зростання димності відпрацьованих газів за роботи двигуна із збільшеними подачами палива. Це зростання може досягти 32 % (рис. 4). Однак при роботі біодизельного двигуна з максимальним навантаженням і підвищеною подачею палива його токсичні показники навіть краще за показники дизельного прототипу (рис. 4) [20].

В порівнянні з дизельним двигуном використання сумішевого палива без вмісту мінеральної складової навіть за підвищеної подачі палива призводить до покращення екологічних показників, яке складає щодо діоксиду та оксиду вуглецю відповідно 12 та 45 %, оксидів азоту – 17 %, вуглеводнів, що не згоріли, – 24 % і димності відпрацьованих газів – 22 %.

Висновки та перспективи подальшого розвитку у цьому напрямку

Для можливості використання БДП без зміни конструкції двигуна, слід його модифікувати, в першу чергу змінюючи фракційний склад. Найбільш перспективними є домішки складних ефірів граничних карбонових кислот і спиртів меншої молекулярної маси. Додавання компонентів меншої

молекулярної маси дозволяє одержати паливо, яке більш повно відповідає вимогам конструкції сучасних дизельних двигунів за рахунок широкого фракційного складу, що містить більш легкокиплячі фракції, ніж МЕРО. Ефіри граничних карбонових кислот і спиртів не містять кратних зв'язків, що дозволяє підвищити хімічну стабільність біодизельного палива при зберіганні. На прикладі сумішевого БДП з вмістом рослинної (сафлорової) олії показано, що при вмісті олії більше 50 % необхідні зміни паливної системи двигуна. Найбільш оптимальним співвідношенням компонентів зазначеного палива, з огляду на рівень закоксування розпилювачів форсунок, нагароутворення, ресурсу і техніко-економічних характеристик двигуна, є 20 % рослинної олії та 80 % ДП.

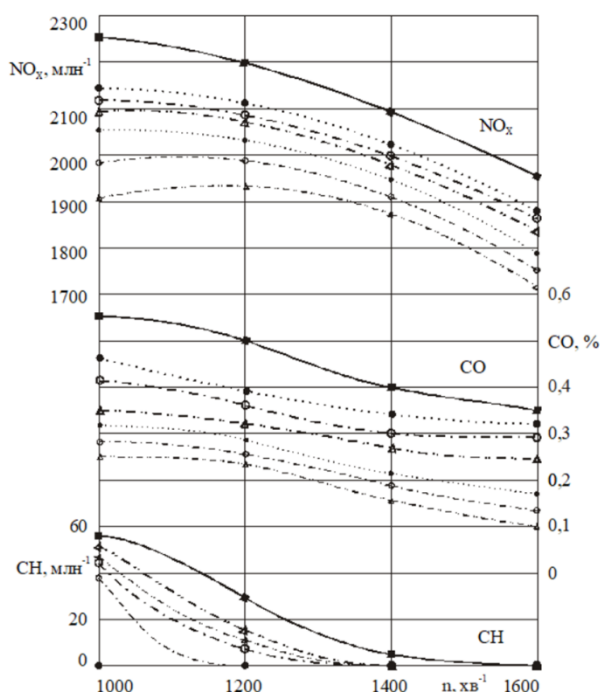


Рис. 3. Вміст токсичних компонентів у відпрацьованих газах двигуна Д21А, що працює за зовнішніми швидкісними характеристиками:

- — 100 % диз. палива;
-●..... — 60 % біопалива;
- - -○ - - - — 80 % біопалива;
- - -△ - - - — 100 % біопалива; подвійна товщина ліній та розмір позначок відповідають підвищеній подачі сумішевого палива

Внаслідок зниження цетанового числа суміші ДП і рослинної олії ускладнюється пуск холодного двигуна, тому для адаптування дизельного двигуна до моторного палива на основі рапсової олії пропонується використовувати електрофакельний підігрівач повітряного заряду, що встановлюється у

впускному колекторі. Ефективно розділення системи живлення дизеля на дизельну і біодизельну частини, ввести автоматичне регулювання співвідношення цих палив в процесі роботи. У такому варіанті частина системи живлення БДП адаптована до його застосування. Основний параметр, яким треба керувати і який відсутній в класичній системі живлення є співвідношення компонент суміші палив, визначення і керування яким є основною особливістю розробленої системи живлення.

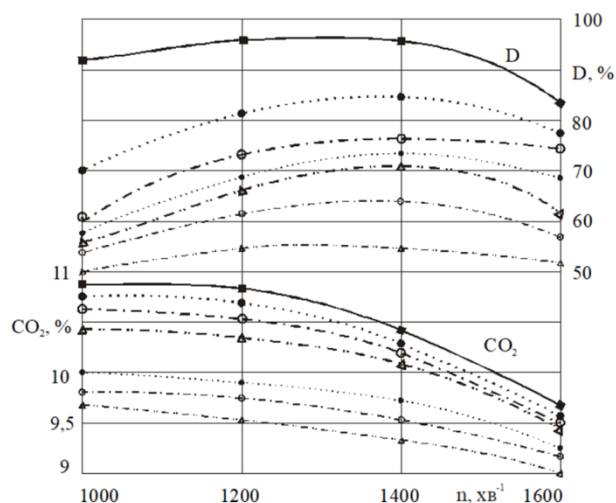


Рис. 4. Вміст діоксиду вуглецю та димність відпрацьованих газів двигуна Д21А, що працює за зовнішніми швидкісними характеристиками:

- — 100 % диз. палива;
-●..... — 60 % біопалива;
- - -○ - - - — 80 % біопалива;
- - -△ - - - — 100 % біопалива; подвійна товщина ліній та розмір позначок відповідають підвищеній подачі сумішевого палива

В Україні ще не існує масового застосування БДП. Його в певній пропорції з дизельним паливом використовують тільки деякі сільські господарства, фермерські господарства для тракторної техніки. Вміст біологічної складової в сумішевому паливі до 5 % не впливає на надійність і стабільність функціонування паливної апаратури. Для безпечної експлуатації двигуна на сумішевих паливах з більшою концентрацією біологічного продукту необхідні захисні заходи для нейтралізації його корозійного впливу на елементи паливної системи та гумові і пластикові деталі, що контактують з біодизельним паливом. Необхідно скорочувати терміни між технічними обслуговуваннями двигунів.

Також слід додати:

– в зв'язку з меншою різницею в значеннях теплоти згоряння дизельного і біодизельного пального досягнення відповідних енергетичних показників

при роботі на альтернативному паливі є нескладною задачею і вирішується за рахунок переналаштування паливної апаратури як в звичайних дизелях так і у разі електронного керування паливним насосом високого тиску;

– одною із важливих задач є досягнення стабільності сумішевого палива (дизельне паливо з біопаливом) в різних пропорціях з плином часу без можливого розшарування. Останнє може негативно вплинути на роботу паливної апаратури;

– одним з важливих показників роботи дизеля є токсичність його ВГ. Проведені експериментальні дослідження показали, що при роботі на сумішевих паливах всі показники по вмісту таких речовин як CO, C_nH_m, NO_x та димність ВГ краще, ніж при роботі на дизельному паливі. Однією з особливостей використання суто біологічного палива є те, що показники токсичності ВГ залежать від коефіцієнту надлишку повітря і при зниженні його нижче визначених значень може різко зростати, наприклад, димність ВГ. Але все це коригується при налаштуваннях паливної системи дизеля;

– надійність роботи елементів паливної системи дизеля при використанні сумішевих палив суттєво не страждає.

– експериментально показано, що при багатогодинних випробуваннях практично незмінні налаштування паливного насоса та форсунок. Лише фільтруючий елемент ПФ після 100-годинних випробувань зменшив свою пропускну спроможність на 40 %, але він взагалі має запас по цьому параметру;

– за можливості тривалої експлуатації дизеля в складі будь-якої техніки необхідно замінити всі ущільнення, що виготовлені з гуми на стійкі до ефірів кислот біологічного палива.

Список літератури:

1. Закон України № 4970-VI від 19 червня 2012 р. Про внесення змін до деяких законів України щодо виробництва та використання моторних палив з вмістом біокомпонентів // *Голос України*. – Київ, 2012. – 20 липня, № 131.
2. Иванов А.С. Мировой энергетический рынок: "перезагрузка" в контексте глобального финансово-экономического кризиса / А.С. Иванов, И.Е. Матвеев // *Бурение и нефть*. – 2009. – № 11. – С. 3–7.
3. Марченко В. Ефективність та доцільність використання біодизельного палива в Україні / В. Марченко, В. Сінько // *Пропозиція*. – 2005. – № 10. – С. 3–37.
4. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні [Електронний ресурс] / Г.Г. Геленуха [та ін.] // Біоенергетична асоціація України. Аналітична записка БАУ. – 2014. – № 9. – С. 1–32. – Режим доступу: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-9-ua.pdf>.
5. Десянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Десянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. – Харьков: Новое слово, 2007. – 452 с.
6. Лютко В. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. Лютко,

- В.Н. Луканин, А.С. Хачиян. – М.: Московский автомобильно-дорожный ин-т, 2000. – 311 с.
7. Быченин А.П. Повышение ресурса плунжерных пар топливного насоса высокого давления тракторных дизелей применением смеси минерально-растительного топлива: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.20.03 / Быченин Александр Павлович. – Пенза, 2007. – 17 с.
 8. Горбов В.М. Состояние и перспективы использования биодизельных топлив в судовой энергетике / В.М. Горбов, В.С. Митенкова // *Вісник СевДТУ. Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр.* – Севастополь: Вид-во СевДТУ, 2009. – Вып. 97. – С. 107–112.
 9. Ажсирей М. Дизтопливо с биодобавкой: смерть или жизнь для двигателя? [Электронный ресурс] / М. Ажсирей; ABW.BY: официальный сайт. – 2010. – 3 (709), 21 января. – Режим доступа: https://www.abw.by/number/see_note/6046/.
 10. Техника и технологии производства и переработки растительных масел / С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, С.В. Романцова, В.П. Таров. – Тамбов: Издательство ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 92 с.
 11. Таманджа И. Перспективы и обоснование использования биодизеля в судовых дизельных установках / И. Таманджа, Н.Н. Шуйтасов // *Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология*. – 2010. – № 1. – С. 158–166.
 12. Марков В.А. Кукурузное масло как противодымная присадка к нефтяным топливам / В.А. Марков, С.Н. Десянин // *Транспорт на альтернативном топливе*. – 2011. – № 5 (23). – С. 6–10.
 13. Производство биодизельного топлива из органического сырья / С.И. Дворецкий [и др.] // *Вопросы современной науки и практики. Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского*. – 2012. – № 39. – С. 126–135.
 14. Полищук В. Альтернативные дизельные топлива / В. Полищук, В. Дубровин, А. Полищук // *Motrol*. – 2012. – Т. 14, № 3. – С. 20–31.
 15. Проблемы и перспективы использования смеси дизельного топлива и рапсового масла [Электронный ресурс] / *GlobeCore: официальный сайт*. – 17 июня 2016. – Режим доступа: <http://blending.globecore.ru/2016/06/17/>.
 16. ДСТУ 4840:2007. Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови. – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 12 с.
 17. Левтеров А.М. Вивчення впливу моторних властивостей біопалива на енергоекологічні характеристики дизельного двигуна / А.М. Левтеров, В.П. Мараховський, В.Д. Савицький // *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. ХНАДУ*. – 2012. – Вып. 31. – С. 57–61.
 18. Ethanol containing ethyl esters of fatty acids as perspective environment like fuel / L.K. Patrylak, K.I. Patrylak, M.V. Okhrimenko, V.V. Ivanenko, S.O. Zubenko, A.M. Levterov, V.P. Marakhovskiy, V.D. Savytskyi // *Fuel the Science and Technology of Fuel and Energy*. – 2013. – Vol. 113. – P. 650–653.
 19. Левтеров А.М. Розробка методів адаптації дизелів до біонафтових паливних композицій / А.М. Левтеров, В.Д. Савицький, Н.Ю. Гладкова // *Проблемы машиностроения: Том 20*. – №3. – 2017. – С. 54–63.
 20. Левтеров А.М. Підвищення ефективної потужності дизеля, що працює на сумішевому біодизельному паливі // А.М. Левтеров, В.Д. Савицький // *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. ХНАДУ*. – 2014. – Вып. 34. – С. 32–38.

Bibliography (transliterated):

1. Law of Ukraine № 4970-VI (2012), "On amendments to some laws of Ukraine on the production and use of motor fuels containing biocomponents", *Voice of Ukraine* ["Pro vnesennya zmin do

deyakykh zakoniv Ukrainy pro vyrobnytstvo ta vykorystannya motornykh palyv, shcho mistyat biokomponenty", *Holos Ukrainy*], No. 131. 2. Ivanov, A.S. (2009), " World energy market: "reset" in the context of the global financial and economic crisis", *Drilling and oil* ["Svitovyy enerhetychnyy rynek:" skydannya "v konteksti svitovoyi finansovo-ekonomichnoyi kryzy", *Burynnya ta vydobutok nafty*], No. 11, pp. 3–7. 3. Marchenko, V., Sinko, V. (2005), " Efficiency and feasibility of using biodiesel in Ukraine", *Proposal* ["Efektyvnist' ta dotsil'nist' vykorystannya biodyzelya v Ukraini", *Propozytsiya*], No. 10, pp. 3–37. 4. Gelenukha, G.G. (2014), " The current state and prospects of bioenergy development in Ukraine", *Electronic resource* ["Suchasnyy stan ta perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini", *Elektronnyy resurs, Asotsiatsiya bioenerhetyky Ukrainy. Analitichna zapyska UAB*], No. 9, pp. 1–32. Access mode: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-9-ua.pdf>. 5. Devyanin, S.N., Markov, V.A., Semenov, V.G. (2007), " Vegetable oils and fuels based on them for diesel engines" , *Kharkov: New Word* ["Roslynni oliyi ta palyvo na yikh osnovi dlya dyzel'nykh dvyhuniv", *Kharkiv: Nove slovo*], 452 p. 6. Lotko, V., Lukanin, V.N., Khachiyani, A.S. (2000), " The use of alternative fuels in internal combustion engines", *Moscow Automobile and Road Institute* ["Zastosuvannya al'ternatyvnykh vydiv palyva v dvyhunakh vnutrishn'oho z'horyannya", *Moskovs'kyi avtomobil'no-dorozhnyi instytut*], 311 p. 7. Bychenin, A.P. (2007) " Increasing the resource of plunger pairs of a high-pressure fuel pump of tractor diesel engines using a mixed mineral-vegetable fuel", *author. dis. ... Cand. those. Sciences*: 05.20.03 ["Zbil'shennya resursu plunzhernykh par palyvnoho nasosa vysokoho tysku traktornykh dyzel'nykh dvyhuniv iz zmishanym mineral'no-roslynnym palyvom", *avt. dys. ... Kandydat ti. Nauk*: 20.05.03, *Bychenin Oleksandr Pavlovych, Penza*], 17 p. 8. Gorbov, V.M., Mitenkova, V.S. (2009) " State and prospects for the use of biodiesel fuels in ship power engineering", *Bulletin of SevSTU. Mechanics, energy, ecology: coll. Science. np. - Севастополь: Вид-во СевДТУ, Bun*. 97 ["Stan ta perspektyvy vykorystannya biodyzel'noho palyva v sudnoviy enerhetytsi", *Visnyk SevHTU. Mekhanika, enerhetyka, ekolohiya: zb. Nauka. pr. Sevastopol': Vyd-vo SevDTU, Vyp. 97*], pp. 107–112. 9. Azhgirey, M. (2010), " Diesel fuel with bioadditives: death or life for the engine?", *Electronic resource* ["Dyzel'ne palyvo z biodobavkamy: smert' chy zhyttya dlya dvyhuna?", *Elektronnyy resurs, ABW.BY: ofitsiynyy sayt*], No. 3, *January 21*. Access mode: https://www.abw.by/number/see_note/6046/. 10. Nagornov, S.A., Dvoretzky, D.S., Romantsov, S.V., Tarov, V.P. (2010), " Technique and technology of production and processing of vegetable oils", *Tambov: Publishing house of GOU VPO TSTU* ["Tekhnika i tekhnolohiya vyrobnytstva ta pererobky roslynnnykh oliy", *Tambov: Vydavnytstvo HOU VPO TDTU*], 92 p. 11. Tamandzha, I., Shuytasov N.N. (2010), " Prospects and rationale for the use of biodiesel in ship diesel installa-

tions", *Bulletin of ASTU. Ser. : Marine engineering and technology* ["Perspektyvy ta obhruntuvannya vykorystannya biodyzelya v sudnovykh dyzel'nykh ustanovkakh", *Visnyk ASTU. Ser. : Mors'ka inzheneriya ta tekhnolohiya*], No. 1, pp. 158–166. 12. Markov, V.A., Devyanin, S.N. (2011) "Corn oil as an anti-smoke additive to oil fuels", *Transport on alternative fuel* ["Kukurudziana oliya yak protydyma dobavka do mazutnoho palyva", *Transport na al'ternatyvnomu palyvi*], No. 5 (23), pp. 6–10. 13. Dvoretzky, S.I. [and others] (2012) "Production of biodiesel fuel from organic raw materials", *Questions of modern science and practice. Tavrichesky National University named after I.N. Vernadsky* ["Vyrobnytstvo biodyzel'noho palyva z orhanichnoyi syrovyny", *Pytannya suchasnoyi nauky ta praktyky. Tavrychnyy natsional'nyy universytet imeni I.N. Vernadsk'koho*], No. 39, pp. 126–135. 14. Polishchuk, V., Dubrovyn, V., Polishchuk, A. (2012) "Alternative diesel fuels", *Motrol* ["Al'ternatyvni dyzel'ni palyva", *Motrol*] T. 14, No. 3, pp. 20–31. 15. " Problems and prospects of using a mixture of diesel fuel and rapeseed oil", *Electronic resource* ["Problemy ta perspektyvy vykorystannya sumishi dyzel'noho palyva ta ripakovoyi oliyi", *Elektronnyy resurs GlobeCore: ofitsiynyy sayt. - 17 chervnya*] Access mode: <http://blending.globecore.ru/2016/06/17/>. 16. " Diesel fuel of the increased quality. Specifications" (2007), *DSTU 4840:- Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy* ["Dyzel'ne palyvo pidvyshchenoyi yakosti. Spetsyfikatsiya", *DSTU 4840: - Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy*], 12 p. 17. Levterov, A.M., Marakhovsky, V.P., Savitsky, V.D. (2012), "Study of the influence of motor properties of biofuels on the energy-ecological characteristics of a diesel engine", *Road transport: Sat. scientific. tr. HNADU* ["Vychemnya vplyvu motornykh vlastyvostey biopalyva na enerhetychno-ekolohichni kharakterystyky dyzel'noho dvyhuna", *Avtomobil'nyy transport: Zb. naukovyy. tr. HNADU*], Issue. 31, pp. 57–61. 18. Patrylak, L.K., Patrylak, K.I., Okhrimenko, M.V., Ivanenko, V.V., Zubenko, S.O., Levterov, A.M., Marakhovskiy, V.P., Savitsky, V.D. (2013), "Ethanol containing ethyl esters of fatty acids as perspective environment like fuel", *Fuel the Science and Technology of Fuel and Energy* ["Etanol, shcho mistyt' etylovi efiry zhyrnykh kyslot yak perspektyvne seredovyshche, yak palyvo", *Fuel Science and Technology of Fuel and Energy*], Vol. 113, pp. 650–653. 19. Levterov, A.M., Savitsky, V.D., Gladkova, N.Yu. (2017), "Development of methods for adapting diesels to biofuel fuels", *Problems of Mechanical Engineering: Volume 20* ["Rozrobka metodiv adaptatsiyi dyzeliv do biopalyvnoho palyva", *Problemy mashynobuduvannya: Tom 20*], No. 3, pp. 54–63. 20. Levterov, A.M., Savitsky, V.D. (2014) " Increasing the effective power of a diesel engine running on blended biodiesel", *Road transport: Sat. scientific tr. HNADU* ["Zbil'shennya efektyvnoyi potuzhnosti dyzel'noho dvyhuna, shcho pratsyuye na zmishanomu biodyzeli", *Avtomobil'nyy transport: Zb. naukova tr. HNADU*], Issue. 34, pp. 32–38.

Надійшла до редакції 01.04.2021 р.

Бганцев Валерій Микитович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу водневої енергетики Інституту проблем машинобудування НАН України, Харків, Україна, e-mail: dppp@ipmach.kharkov.ua, <http://orsid.org/0000-0003-0661-1040>.

НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОТОПЛИВ

В.М. Бганцев

Использование топлив биологического происхождения на основе растительных масел и другого аналогичного сырья в дизельных двигателях в развитых странах позволяет сократить расходы минерального дизельного топлива и улучшить состояние окружающей среды. Этот вопрос актуален и для Украины, в связи с чем руководящими органами ему уделяется большое внимание. Углубление знаний в изучении особенностей протекания рабочих циклов дизелей, их мощностных и токсических характеристик при этом способствует оптимизации использования этих видов топлива. В приведенной работе рассмотрены основные вопросы, связанные с использованием в качестве биологической составляющей топлива растительных масел, таких как подсолнечное, рапсовое, кукурузное и их этиловых эфиров как в чистом виде так и в смеси с минеральным дизельным топливом. Рассмотрены теоретические вопросы и экспериментальные данные, связанные с использованием этих топлив в дизельных двигателях. Экспериментальные исследования проводились на дизельных двигателях Д21А и четырехцилиндровом - Шкода - аналоге двигателя Volkswagen объемом 1,9 л с турбонаддувом. Экономические и токсические характеристики получали по нагрузочным и скоростным характеристикам. Отмечается увеличение расхода смесового топлива по сравнению с минеральным

топливом, токсические характеристики по некоторым показателям были лучше, в некоторых случаях, например при работе на повышенных мощностях, ухудшались относительно показателей при работе на минеральном топливе. Сформулированы основные принципы эффективного использования биотоплива в транспортных дизелях по энергетическим и токсическим показателям, а также коррозионному воздействию смесевых биотоплив на топливную аппаратуру. На сегодня автозаправочные станции в Украине продают как альтернативные только топлива для бензиновых двигателей. Это смеси в различных пропорциях бензина и биоэтанола с содержанием последнего до 35–40% по объему. Цена такого топлива ниже цены бензина. Биодизельных топлив в продаже нет, хотя они также стоили бы меньше, чем минеральное дизтопливо. Вероятно, что использование биодизельных топлив сдерживается по причине необходимости адаптации дизельного двигателя к этим топливам и контролю состояния топливной аппаратуры. Однако эти затраты небольшие и могут легко компенсированы за счет разницы в цене минерального и биодизельного топлив. Можно предположить, что в первую очередь биодизельное топливо будет внедряться в сельскохозяйственной технике.

Ключевые слова: растительные масла; дизельное топливо; топливо биологического происхождения; топливная система.

SCIENTIFIC PRINCIPLES OF INCREASING THE EFFICIENT PERFORMANCE OF DIESELS WHEN USING BIOFUELS

V.M. Bgantsev

The use of biological fuels based on vegetable oils and other similar raw materials in diesel engines in developed countries can reduce the cost of mineral diesel fuel and improve the environment. This issue is relevant for Ukraine as well, in connection with which the governing bodies pay great attention to it. The deepening of knowledge in the study of the peculiarities of the flow of operating cycles of diesel engines, their power and toxic characteristics at the same time contributes to the optimization of the use of these types of fuel. In this work, the main issues related to the use of vegetable oils, such as sunflower, rapeseed, corn oils and their ethyl esters, both in pure form and in a mixture with mineral diesel fuel, are considered as a biological component of fuel. Theoretical issues and experimental data related to the use of these fuels in diesel engines are considered. Experimental studies were carried out on diesel engines D21A and four-cylinder - Skoda - an analogue of the 1.9-liter Volkswagen engine with turbocharging. Economic and toxic characteristics were obtained by load and speed characteristics. There is an increase in the consumption of mixed fuel in comparison with mineral fuel, the toxic characteristics were better in some indicators, in some cases, for example, when operating at increased capacities, they worsened relative to those when operating on mineral fuel. The basic principles of the effective use of biofuels in transport diesel engines are formulated in terms of energy and toxic indicators, as well as the corrosive effect of blended biofuels on fuel equipment. Today, gas stations in Ukraine only sell alternative fuels for gasoline engines. These are mixtures in various proportions of gasoline and bioethanol with a content of the latter up to 35–40% by volume. The price of such fuel is lower than the price of gasoline. Biodiesel fuels are not commercially available, although they would also cost less than mineral diesel fuel. It is likely that the use of biodiesel fuels is restrained due to the need to adapt the diesel engine to these fuels and to monitor the state of the fuel equipment. However, these costs are small and can be easily compensated for by the difference in the price of mineral and biodiesel fuels. It can be assumed that, first of all, biodiesel will be introduced into agricultural machinery.

Key words: vegetable oils; diesel fuel; biological fuel; fuel system.

УДК 621.43

DOI: 10.20998/0419-8719.2021.1.04

I.В. Грицук, Д.С. Погорлецький, Д.С. Адров, А.В. Білай

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ТА ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ

В статті розглядаються особливості методу дослідження паливної економічності та екологічних показників транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, які оснащені системою теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу, в основу якого покладено реалізацію системної взаємодії трьох взаємопов'язаних її складових: інформаційної, аналітичної і енергетичної. Представлено принципову схему системи теплової підготовки та інформаційну систему оцінювання способів забезпечення теплової підготовки транспортних засобів в умовах експлуатації за допомогою системи теплової підготовки на основі бортового комплексу (Intelligent transportation system). Особливість запропонованої системи полягає в тому, що підсистеми створюють спільне інформаційне поле системи моніторингу параметрів транспортного засобу з системою теплової підготовки, але діють окремо одна від одної, виходячи з особливостей задач, що вони виконують. Удосконалено метод визначення і розрахунку витрати палива та викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, оснащених тепловим акумулятором фазового переходу в процесах передпускової та післяпускової теплової підготовки на основі обраної моделі системи «Двигун-нейтралізатор». Для забезпечення теплової підготовки транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, обладнаних системою теплової підготовки на основі теплового акумулятору фазового переходу, розроблено цикл теплової підготовки в умовах експлуатації. Встановлено вплив системи теплової підготовки з тепловим акумулятором фазового переходу транспортного засобу з двигуном, перео-