

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.1.90

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ЗА УМОВИ ЙОГО РОБОТИ НА БІОМЕТАНОЛІ

Крижанівський Є.І.¹, Криштопа С.І.², Криштопа Л.І.³, Гнип М.М.⁴, Микитій І.М.⁵
^{1,2,3,4,5} Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

***Анотація.** Виконані дослідження доцільності використання біометанолу як палива порівняно з використанням дизельного палива нафтового походження в дизельних двигунах, переобладнаних на роботу на спиртах. Досліджено експериментальні залежності ефективної потужності та питомої витрати палива від частоти обертання колінчастого вала для базового дизельного й конвертованого на метанол двигуна. Установлено, що в разі переведення дизельного двигуна на роботу на метанолі не відбувається зниження потужнісних показників двигуна. Аналіз відпрацьованих газів у випадку переведення дизельного двигуна на роботу на метанолі показує, що на всіх режимах роботи двигуна відбувається зниження викидів оксидів азоту та оксиду вуглецю.*

***Ключові слова:** дизельний двигун, біопаливо, біометанол, водорості, екологічні показники ДВЗ.*

Вступ

Однією із серйозних проблем, що сьогодні стоять перед фахівцями автомобільного транспорту, є забезпечення автомобілів альтернативними паливами не нафтового походження. Найвні розвідані нафтові родовища наближаються до свого вичерпання, що неминуче призведе до поступового зростання цін на нафту та, відповідно, на моторне паливо, одержане шляхом переробки нафти. Одночасно глобальною проблемою людства є захист навколишнього середовища від шкідливих викидів з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згорання. Особливо це питання є актуальним для автомобілів з дизельними двигунами. Поступово все більше європейських міст переходить до заборони або обмеження використання автомобілів з дизельними двигунами. У зв'язку з підвищеною канцерогенністю автомобілів з дизельними двигунами низка світових автомобільних концернів уже оголосила про згорання програм випуску автомобілів з дизельними двигунами.

Таким чином, в Україні та світі на сьогодні існує актуальна багатогранна проблема із забезпечення потреби автомобільного транспорту в дешевому і екологічно чистому паливі не нафтового походження. Необхідно зазначити, що на даний час у світі експлуатується велика кількість автомобілів з дизельними двигунами, що порівняно з бензиновими характеризуються значно більшою вартістю та ресурсом. Тому раціональ-

ним кроком було б використання як для перспективних дизельних двигунів, так і дизельних двигунів, що на даний час знаходяться в експлуатації, альтернативних, більш дешевих та екологічно чистих палив порівняно з дизельним паливом нафтового походження. Одним з головних напрямів вирішення цього завдання є використання відновлюваних джерел енергії з рослинної біомаси. Разом з тим необхідно зазначити, що бурхливе зростання виробництва та споживання біопалив з рослинних олив харчового призначення в багатьох країнах світу призвело до порушення балансу в структурі агропромислового виробництва та стало породжувати в суспільстві проблеми соціального, екологічного та етичного плану. Це значною мірою пов'язано з використанням для виробництва біопалива сільськогосподарських площ, у той час коли зараз, за різними оцінками, голодує близько 20 % людства.

Один з перспективних подальших шляхів розвитку біопалив пов'язаний з використанням замість біомаси із сільськогосподарських площ біомаси водоростей та водних рослин (біоматеріалів третього покоління), що як енергетична сировина за низкою своїх характеристик перевершують традиційні сировинні біоресурси (біоматеріали першого-другого покоління). Проте широкому впровадженню в автомобільному транспорті біопалив з водоростей та водних рослин заважає недостатнє на цей момент дослідження питань використання в автомобільних двигу-

нах біопалив, які виготовлені із зазначених біоматеріалів третього покоління. Тому дослідження використання в автомобільних двигунах біопалив, які створені з великої номенклатури наявних водоростей та водних рослин, є вчасними та актуальними.

Аналіз публікацій

Виконаний аналіз робіт свідчить, що дослідники все частіше приходять до єдиної думки про поступову відмову від застосування нафтових палив [1] і доцільності в цьому плані використання відновлюваних джерел енергії з рослинної біомаси [2].

Необхідно зазначити, що технології отримання біопалив з рослинних масел з подальшим його використанням в двигунах автотракторної техніки розроблені на достатньо глибокому рівні [3]. Переважно з олійних культур шляхом вичавлювання виділяється масло, а надалі очищається різними методами, зокрема нейтралізацією, виморожуванням або фільтруванням.

У виробництві біодизельного палива застосовують різні види рослинних масел, таких як рапсове, льняне, соняшникове, пальмове та ін. [4]. Одночасно отримане біопаливо з різних рослинних масел має низку відмінних фізико-хімічних ознак. До таких ознак належать: нижча температура згоряння, в'язкість, щільність, фільтрованість, температура застигання, коксованість, цетанове число та ін.

Паливний потенціал олійних культур порівняно на 1 т сировини набагато більше щодо інших сільськогосподарських культур. Проведені розрахунки показують, що витрати на отримання рапсового насіння становлять близько 17 700 МДж /кг, на отримання масла – 700 МДж /кг, зокрема енергія, що отримується від масла, – 22 200 МДж/кг. У зв'язку з вищесказаним можна зробити висновки, що енергетичний прибуток з одного гектара посіву ріпаку становить 3 800 МДж (що відповідає 110 л нафтового дизельного палива за своєю енергетичною цінністю) [5].

Біопаливо з наземних сільськогосподарських культур (ріпак, соняшник та ін.) успішно використовується у двигунах, продовжуючи їх термін служби, та має високе цетанове число [6]. Використання біопалива як біодобавки до нафтового дизельного палива дозволяє покращувати екологічні та протизношувальні властивості палив [7].

За умови використання водоростей та водних рослин як біоматеріалів для створен-

ня моторного палива є низка переваг [8]: водорості та водні рослини в процесі росту поглинають 80–90 % вуглекислого газу з виділенням кисню; для культивування водоростей та водних рослин можна використовувати стічні та засолені води; водорості та водні рослини, на відміну від наземних рослин, ростуть цілий рік. Разом з тим установлено, що біопродуктивність та вміст ліпідів водоростей залежить від інтенсивності освітлення [9].

Невисоке перемішування води інтенсифікує тепломасообмінні процеси у водоростях, сприяє руху клітин у зону освітлення та збільшує біопродуктивність водоростей [10]. Установлено, що на врожайність водоростей та водних рослин суттєвий вплив має концентрація вуглекислого газу [11]. Так, у разі зростання концентрації вуглекислого газу з 4 до 22 % вихід біомаси водоростей збільшувався в чотири-п'ять разів.

Важливе місце серед перспективних альтернативних палив для дизелів займають спирти [12]. До них насамперед належать: метиловий спирт (метанол), етиловий спирт (етанол), н-бутиловий спирт (бутанол) та ін. Виробляти спирти можна практично з будь-якої сировини, що містить в собі вуглець. Спирти за низкою фізико-хімічних властивостей істотно відрізняються від стандартних дизельних палив, що ускладнює застосування їх у дизелях.

Найбільш перспективним на сьогоднішній день для застосування в дизелях є одноатомний первинний спирт – метиловий (метанол) CH_3OH . Метанол – це найпростіший спирт, він є отруйною рідиною зі слабким спиртовим запахом. Серед позитивних моментів метилового спирту для застосування в дизельних двигунах можна відзначити наявність у його молекулах атомів кисню, що дозволяє використовувати метанол як оксигенати (кисневмісні компоненти), що сприяють зниженню викидів сажі та монооксиду вуглецю як в бензинових двигунах, так і в дизелях [13].

Мета і постановка завдання

Водорості та водні рослини є одним з найстаріших та найстійкіших організмів на Землі та живуть в прісній та солоній воді, у ґрунті та навіть снігу. Серед усього різноманіття наявних водоростей та водних рослин авторами для досліджень була обрана елодея (Elodea) – багаторічна водна рослина родини водокрасових (Hydrocharitaceae). За-

значена водяна рослина є надзвичайно пристосованою до будь-якого водного середовища, є вкрай невибагливою та відрізняється надзвичайно високими темпами збільшення біомаси: до 5 % за добу.

Зазначена водяна рослина створила велику проблему для країн Європи та України через її швидке поширення й негативний вплив на екосистеми, рибальство й навіть судноплавство, зокрема щороку масштаби забруднення поверхні води суттєво збільшуються. Найефективнішим шляхом очищення водоймищ є використання еладеї як палива.

Тому завданнями цієї статті є експериментальні дослідження:

- зміни потужнісних характеристик автомобільних дизельних двигунів за умови використання в цих двигунах метанолу, який одержано з елодеї;

- зміни екологічних показників автомобільних дизельних двигунів у процесі використання в цих двигунах метанолу, який одержано з елодеї.

Результати експериментальних досліджень

Порівняно з іншими альтернативними паливами вартість метилового спирту невисока [14], крім того, за умови використання метанолу як палива для дизелів можна значно

знижити викиди часток сажі та оксидів азоту. Це відбувається внаслідок того, що під час горіння метанолу в циліндрі дизеля не утворюються проміжні продукти, що сприяють зародженню ацетиленових і ароматичних вуглеводнів, які і призводять до утворення сажі [15]. Тому предметом дослідження з економічної та екологічної точок зору стало використання метанолу, одержаного з елодеї, у дизельному двигуні. У табл. 1 представлені порівняльні фізико-хімічні властивості метанолу і дизельного палива [16].

До недоліків метанолу можна віднести менші значення нижчої теплоти згорання порівняно з дизельним паливом (табл. 1). У зв'язку з цим для збереження потужних показників дизеля циклова подача збільшувалася в 2,2 раза.

Погані змащувальні властивості [17], як наслідок підвищеної пружності парів, викликають великі кавітаційні зноси та появу парових каверн у системі у разі низького тиску паливних насосів, які знижують рівномірність подачі палива, а також мають негативний вплив на стабільність порції палива, що впорскується. Для забезпечення працездатності паливної апаратури під час проведення експериментів у метиловий спирт додавався 1 % касторової олії.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики метанолу та дизельного палива

Показник	Метанол	Дизельне паливо
Щільність за умови 20 °С, не більше, кг/м ³	792	860 (літнє), 840 (зимове)
В'язкість за умови 20 °С, мм ² /с, (сСт)	0,55	3,0–6,0
Змішуваність з вуглеводневими паливами	погана	добра
Температура спалаху, °С	11	62 (літнє), 40 (зимове)
Теплота згорання, кДж/кг	19700	42500
Цетанове число, од.	3	45
Температура кипіння, °С	64,7	170–380
Теоретична кількість повітря, необхідна для повного згорання 1 кг палива, кг повітря/кг палива	6,52	14,45
Елементарний склад, кг / кг:		
вуглець	0,375	0,870
водень	0,125	0,126
кисень	0,5	0,004

У процесі згорання метилового спирту в циліндрах дизеля виникає проблема його займання. Займання метанолу в дизельному двигуні можливе за допомогою [18]:

- подачі запальної порції дизельного палива в камеру згорання;

- використання каталізаторів, які сприяють зниженню температури займання метилового спирту та прискорюють процес реакції горіння;

- додатково встановленої системи запалення.

Для проведення експериментальних досліджень було обрано третій шлях.

Для виконання поставлених завдань на кафедрі автомобільного транспорту в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (ІФНТУНГ) було переобладнано для роботи на метанолі дизельний двигун моделі X17DTL автомобіля Опель Астра. Вказаний автомобіль та двигун (рис. 1) були виготовлені 2000 р. та на початок досліджень пробіг зазначеного автомобіля становив 186 тис. км. Двигун автомобіля знаходиться в повністю технічно справному стані. Компресія виміряна в циліндрах двигуна зазначеного автомобіля до деформування становила $2,95 \pm 0,05$ МПа.

Для переведення дизельного двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра на метанол на кафедрі автомобільного транспорту ІФНТУНГ були виконані такі дії: знижений

ступінь стиснення двигуна до 14,1 шляхом установлення додаткових прокладок під головку блока циліндрів; установлена оригінальна мікропроцесорна DIS-система запалення (рис. 1) власної розробки; оптимізована робота системи управління двигуном.

Стисла технічна характеристика переобладнаного дизельного двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра наведена в табл. 2.

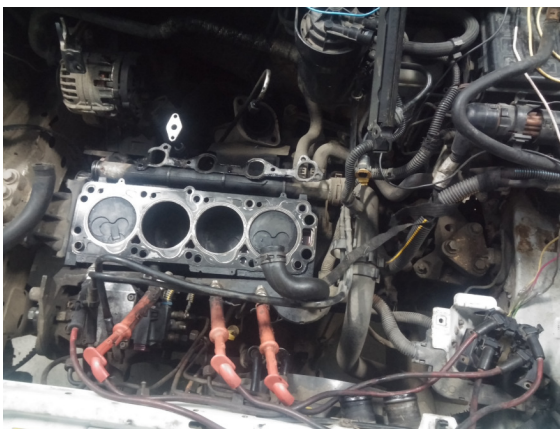
Паливний бак автомобіля заповнювався дизельним паливом марки Л виробництва Кременчуцького НПЗ або метанолом, що був виготовлений з елодеї. Метанол одержувався шляхом сухої перегонки висушеної біомаси елодеї у разі температури $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сушку біомаси виконували в сушильній шафі до рівня вологості 10 %.



а



б



в



г

Рис. 1. Легковий автомобіль Опель Астра з переобладнаним дизельним двигуном: а – двигун модифікації X17DTL; б – головка блока переобладнаного двигуна із свічками запалення та дизельними форсунками; в – конвертований двигун з демонтованою головкою блока та встановленими додатковими прокладками; г – конвертований двигун зі встановленою системою запалення

Таблиця 2 – Стисла технічна характеристика переобладнаного дизельного двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра

№ з/п	Назва параметра	Значення
1	Базовий двигун	Дизельний, з електронною системою впорскування Bosch EDC 15M
2	Конвертований двигун	Метаноловий, з оригінальною мікропроцесорною системою запалювання розробки ІФНТУНГ
3	Робочий об'єм двигуна, см ³	1669
4	Номінальна потужність базового дизельного двигуна, кВт (к.с.)	50 (68)
5	Частота обертання колінвала в процесі експлуатаційної потужності, об./хв	4500
6	Ступінь стиснення базового дизельного двигуна	22,0
7	Ступінь стиснення конвертованого метанолового двигуна	14,1

Біомаса елодеї для одержання палива в літній час збиралася з водоймищ навколо м. Івано-Франківська (рис. 2, а), а в зимовий період – культивувалася в фітобіореакторах (рис. 2, б). Фитобіореактором слугував прозорий резервуар на 60 л з освітленням люмінесцентними лампами. До реактора за

допомогою компресора та вуглекислотного балона подавалася газоповітряна суміш в об'ємі 1 м куб. за добу (вуглекислий газ – 8 %). Елодея культивувалася циклами тривалістю по 14 діб. Під час кожного циклу маса елодеї подвоювалася.



а



б

Рис. 2. Джерела збирання синьо-зелених водоростей для одержання біопалива: природні водойми (а); штучний біореактор (б)

Методика проведення експериментів мала певні етапи. На першому – досліджувалися параметри двигуна, який працював на дизельному паливі. На другому етапі у двигуна знижувалась міра стиснення до 14,1 шляхом демонтажу головки блока та встановлення під головку двох додаткових прокладок. Далі досліджувалися параметри двигуна, який працював на метанолі.

Для порівняльної оцінки показників двигуна на дизельному паливі з відповідними показниками двигуна на метанолі знімалися навантажувальні характеристики двигуна на фіксованих частотах обертання

колінчастого вала на вищій передачі. Перед вимірюваннями параметрів для стабільного протікання робочого процесу двигун прогрівався до робочої температури. Результати вимірювань ефективних та економічних показників записувалися в протоколі випробувань у процесі трикратного повторення на кожному режимі роботи двигуна.

Ефективна потужність двигуна визначалась як сума потужності на ведучих колесах та втрат потужності в трансмісії, що вимірювалася за допомогою портативного динамометричного стенда Portable Road Dyno виробництва Dynomet. Абсолютна по-

хибка вимірювань потужності стендом – 1,0 %.

Об'ємні частки оксидів азоту визначалися газоаналізатором «Автотест-02.03П». Діапазон вимірювань оксидів азоту становить 0–5000 ppm, абсолютна похибка вимірювань – ± 10 ppm, діапазон вимірювань вуглеводнів становить 0–2000 ppm, абсолютна похибка вимірювань – ± 10 ppm, діапазон вимірювань оксиду вуглецю становить 0–5 %, абсолютна похибка вимірювань – $\pm 0,03$ %, діапазон вимірювань діоксиду вуглецю – 0–16 %, абсолютна похибка вимірювань становить $\pm 0,05$ %. Для визначення температур відпрацьованих газів використовувалися термомпари типу «хромель-копель» та логометр-потенціометр УП-2М. Для порівняльної оцінки екологічних показників двигуна на газовому паливі з відповідними показниками базового дизельного двигуна знімалися навантажувальні характеристики двигуна на частотах обертання колінчастого вала від 1 000 до 4 500 1/хв.

Для вимірювання витрати палива під капотом установлювалася окрема ємність на 2 л. Паливо з цієї ємності подавалося на вхід паливного насоса. У цю ж ємність була заведена зворотна паливна магістраль. Маса палива вимірювалася електронною вагою CAS EC 15 (Південна Корея) з похибкою $\pm 0,1$ %. Частота обертання колінчастого вала визначалася мотор-тестером USB Autoscope II за сигналами від датчика частоти обертання колінчастого вала.

Найбільш важливими показниками двигуна, які характеризують ефективність використання метанолу в дизелі, є ефективна потужність та ефективна питома витрата палива. Ефективна потужність двигуна розраховувалася через визначені потужності на ведучих колесах та втрати потужності в трансмісії. Ефективна питома витрата палива розраховувалася через визначені ефективну потужність двигуна та годинну витрату палива. Ці показники, одержані під час роботи двигуна моделі X17DTL автомобіля Опель Астра на дизельному паливі, порівнювалися з показниками, які були отримані в процесі роботи на альтернативному паливі.

На рис. 3 наведені залежності ефективної потужності та ефективної питомої витрати палива від зміни частоти обертання колінчастого вала двигуна за умови роботи на дизельному паливі та метанолі. За даними експериментів порівняно з роботою на дизельному паливі в разі роботи на метанолі питома витрата палива зростає залежно від

частоти обертання від 89,5 до 110,4 %. Таке значне зростання питомої витрати палива під час роботи на метанолі щодо дизпалива пояснюється значно меншою теплотворною здатністю метанолу.

За даними експериментів порівняно з роботою на дизельному паливі за умови роботи на метанолі в діапазоні від обертів холостого ходу до номінальних обертів спостерігається зростання ефективної потужності на 2–5 %. Зазначене зростання ефективної потужності в разі роботи на метанолі пояснюється вмістом великої кількості кисню в молекулі метанолу, що призводить до більш повного згорання палива в циліндрах двигуна.

Унаслідок виконаних експериментальних досліджень установлені залежності зміни вмісту оксидів азоту NO_x , вуглеводнів C_nH_m , оксиду вуглецю CO та діоксиду вуглецю CO_2 від частоти обертання колінчастого вала двигуна n для базового дизельного й конвертованого на метанол двигуна (рис. 4 та 5).

Аналіз одержаних результатів дозволяє зробити певні висновки. Оскільки процес згорання як метанолу, так і нафтового дизельного палива відбувається в обох випадках достатньо ефективно, то вміст вуглеводнів C_nH_m (рис. 4) та діоксиду вуглецю CO_2 (рис. 5) майже не відрізняється під час згорання обох палив.

У діапазоні від обертів холостого ходу до номінальних обертів у процесі роботи на метанолі відбувається істотне зниження викидів оксиду вуглецю CO порівняно з роботою двигуна на дизельному паливі (рис. 4). Експериментально встановлено, що із зростанням частоти обертання двигуна співвідношення викидів оксиду вуглецю CO за умови роботи на метанолі порівняно з роботою двигуна на дизельному паливі майже не змінюється.

У середньому за умови роботи на метанолі зниження викидів оксиду вуглецю CO порівняно з роботою двигуна на дизельному паливі становить 71–89 %. Зниження вмісту оксиду вуглецю CO в разі роботи на метанолі пояснюється більшою кількістю кисню в паливі порівняно з роботою двигуна на дизельному паливі.

Більший вміст кисню в камері згорання призводить до доокислення до CO_2 більшої кількості оксиду вуглецю CO. У діапазоні від обертів холостого ходу до номінальних обертів за умови роботи на метанолі відбувається істотне зниження викидів оксидів азоту NO_x порівняно з роботою двигуна на дизельному паливі (рис. 5).

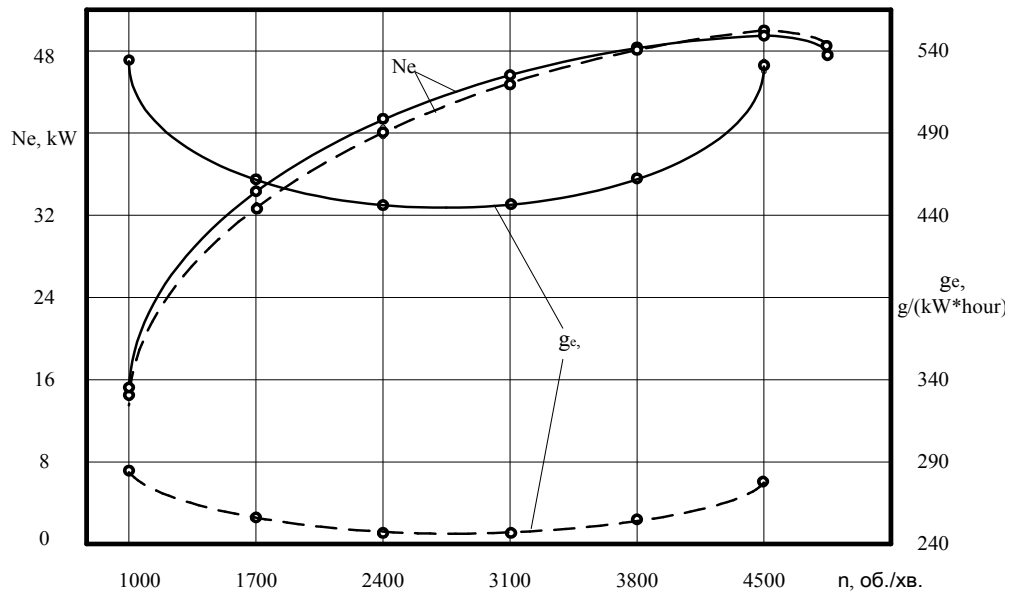


Рис. 3. Експериментальні залежності ефективної потужності N_e та питомої витрати палива g_e від частоти обертання колінчастого вала n для базового дизельного та конвертованого на метанол двигуна: ——— робота двигуна на метанолі; - - - - робота двигуна на нафтовому дизельному паливі

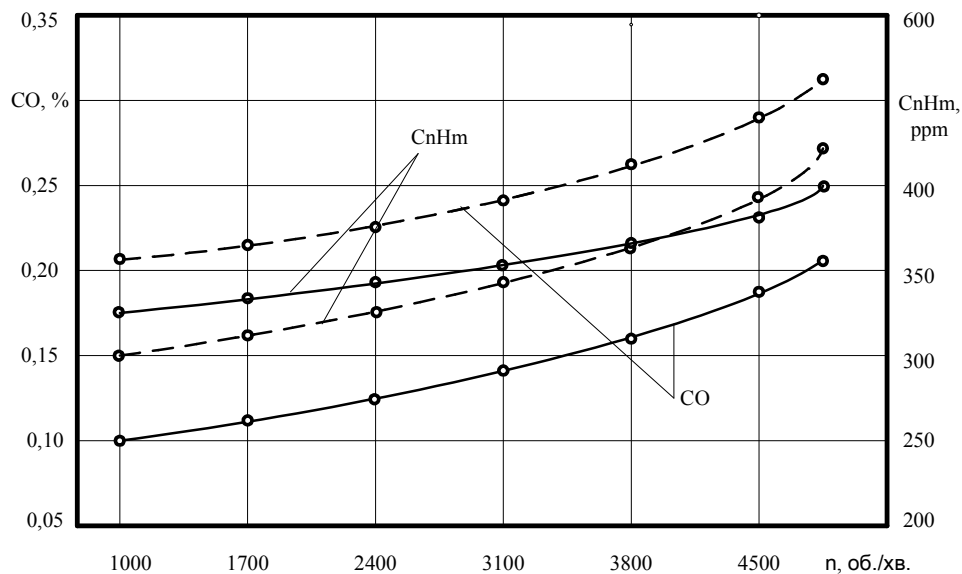


Рис. 4. Експериментальні залежності вмісту вуглеводнів C_nH_m та оксиду вуглецю CO від частоти обертання колінчастого вала двигуна n для базового дизельного та конвертованого на метанол двигуна: ——— робота двигуна на метанолі; - - - - робота двигуна на нафтовому дизельному паливі

Експериментально встановлено, що із зростанням частоти обертання двигуна зниження викидів оксидів азоту NO_x стає більш суттєвим. Наприклад, якщо під час обертань холостого ходу вміст оксидів азоту NO_x за умови роботи на метанолі майже не відрізняється порівняно з роботою двигуна

на дизельному паливі, то на обертах номінальної потужності вміст оксидів азоту NO_x знижується на 54 %.

Таке зниження вмісту оксидів азоту NO_x у разі роботи на метанолі пояснюється нижчою температурою процесу згорання порівняно з роботою двигуна на дизельному паливі.

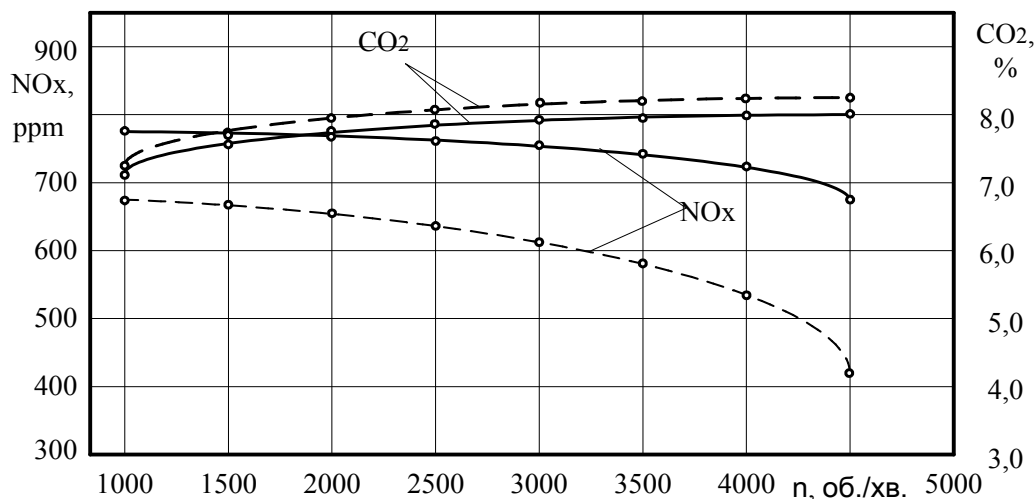


Рис. 5. Експериментальні залежності вмісту оксидів азоту NO_x та діоксиду вуглецю CO_2 від частоти обертання колінчастого вала двигуна n для базового дизельного та конвертованого на метанол двигуна: ——— робота двигуна на метанолі; - - - - робота двигуна на нафтовому дизельному паливі

Висновки

1. Використання біоматеріалів третього покоління (водоростей та водних рослин) є ефективним шляхом забезпечення автомобільних ДВЗ альтернативним паливом. Зокрема метанол, одержаний з елодеї, може успішно використовуватися в дизельних ДВЗ після незначної модернізації двигунів, що дозволяє виключити необхідність використання нафтового дизельного палива. Унаслідок виконаних експериментів встановлено, що за умови переведення дизельного двигуна на роботу на метанолі не відбувається зниження потужнісних показників двигуна. Питома витрата палива конвертованого на метанол двигуна збільшується, але з врахуванням суттєво нижчої собівартості метанолу витрати на паливо співставні з вартістю дизельного палива.

3. Аналіз відпрацьованих газів у разі переведення дизельного двигуна на роботу на метанолі показує, що на всіх режимах роботи двигуна відбувається зниження викидів оксидів азоту (до 54 %) та оксиду вуглецю (до 89 %).

Одержані результати дозволяють оптимізувати вибір палив для систем живлення двигунів внутрішнього згорання та знизити викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобільних дизельних двигунів. Подальші дослідження будуть пов'язані з оптимізацією системи живлення дизельного двигуна конвертованого на роботу на метанолі та зниженням вартості метанолу за рахунок удосконалення виготовлення метанолу з водоростей та водних рослин.

Література

1. Thompson N.A. (2018). Biofuels are (Not) the Future! Legitimation Strategies of Sustainable Ventures in Complex Institutional Environments. *Sustainability*. 10 (5), 1382. doi: 10.3390/su10051382
2. Taheripour F., Zhao X., Tyner W.E. (2017). The impact of considering land intensification and updated data on biofuels land use change and emissions estimates. *Biotechnology for Biofuels*. 10(1), 1–16. doi: 10.1186/s13068-017-0877-y.
3. Ai B., Chi X., Meng J., Sheng Z., Zheng L., Zheng X., Li J. (2016). Consolidated bioprocessing for butyric acid production from rice straw with undefined mixed culture. *Frontiers in Microbiology*. 7. doi: 10.3389/fmicb.2016.01648.
4. German L., Schoneveld G.C., Pacheco P. (2011). The Social and Environmental Impacts of Biofuel Feedstock Cultivation: Evidence from Multi-Site Research in the Forest Frontier. *Ecology and Society*. 16 (3), 24. doi: 10.5751/ES-04309-160324.
5. Yves S., Diamantis A., Stéphane F. (2013). Catalyst technology for biofuel production: Conversion of renewable lipids into biojet and biodiesel. *Oilseeds and fats, crops and lipids*. 20 (5), 502. doi: 10.1051/ocl/2013023.
6. Haas M.I., and Wagner K. (2011). Simplifying biodiesel production: the direct or in situ transesterification of algal biomass. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 113, 1219–1229. doi: 10.1002/ejlt.201100106.
7. Nascimento I.A., Marques S.S.I., Cabanelas I.T.D., Pereira S.A., Druzian J.I., de Souza C.O. (2013). Screening microalgae strains for biodiesel production: lipid productivity and estimation of fuel quality based on fatty acids profiles as selective criteria. *Bioenerg. Res.* 6, 1–13. doi:10.1007/s12155-012-9222-2.
8. Behera S., Singh R., Arora R., Sharma N., Shukla M., Kumar S. (2015). Scope of algae as third

- generation biofuels, 2, 90. doi: 10.3389/fbioe.2014.00090.
9. Afify A.M.M., Shanab S.M., Shalaby E.A. (2010). Enhancement of biodiesel production from different species of algae. *Grasas y Aceites* 61, 416–422. doi: 10.3989/gya.021610.
 10. Chen C.Y., Zhao X.Q., Yen H.W., Ho S.H., Cheng C.L., Bai F. (2013). Microalgae-based carbohydrates for biofuel production. *Biochem. Eng. J.* 78, 1–10. doi:10.1016/j.bej.2013.03.006.
 11. Ho S.H., Chen C.Y., Lee D.J., Chang J.S. (2011). Perspectives on microalgal CO₂-emission mitigation systems—a review. *Biotechnol. Adv.* 29, 189–198. doi: 10.1016/j.biotechadv.2010.11.001.
 12. Brewer Paul J., Brown Richard J.C., Keates Adam C. (2010). Sensitivities of a Standard Test Method for the Determination of the pH of Bioethanol and Suggestions for Improvement. *Sensors*. 10 (11), 9982–9993. doi: 10.3390/s101109982.
 13. Mukherjee V., Radecka D., Aerts G., Verstrepen K.J., Lievens B., Thevelein J.M. (2017). Phenotypic landscape of non-conventional yeast species for different stress tolerance traits desirable in bioethanol fermentation. *Biotechnology for Biofuels*. 10 (1), 1–19. doi: 10.1186/s13068-017-0899-5.
 14. Branco Rita H.R., Serafim Luísa S., Xavier Ana M.R.B. (2018). Second Generation Bioethanol Production: On the Use of Pulp and Paper Industry Wastes as Feedstock. *Fermentation*. 5 (1), 4. doi: 10.3390/fermentation5010004.
 15. Kim, I-Tae, Yoo, Young-Seok, Yoon, Young-Han, Lee, Ye-Eun, Jo, Jun-Ho, Jeong, W., Kim Kwang-Soo. (2018). Bio-Methanol Production Using Treated Domestic Wastewater with Mixed Methanotroph Species and Anaerobic Digester Biogas. *Water*. 10 (10), 1414. doi: 10.3390/w10101414.
 16. Duque A., Manzanares P., González A., Ballesteros M. (2018). Study of the Application of Alkaline Extrusion to the Pretreatment of Eucalyptus Biomass as First Step in a Bioethanol Production Process. *Energies*. 11 (11), 2961. doi: 10.3390/en11112961.
 17. Rujiroj T., Rujira J., Tarawipa P., Weerawat P., Kamonrat L. (2018). Kinetic modeling and simulation of biomethanol process from biogas by using aspen plus. *MATEC Web of Conferences*. 192, 3030. doi: 10.1051/mateconf/201819203030.
 18. Bharadwaz Y.D., Rao B.G., Rao V.D., Anusha C. (2016). Improvement of biodiesel methanol blends. *Alexandria Engineering Journal*. 55 (2), 1201–1209. doi: 10.1016/j.aej.2016.04.006.
 - 10.3390/su10051382.
 2. Taheripour F., Zhao X., Tyner W.E. (2017). The impact of considering land intensification and updated data on biofuels land use change and emissions estimates. *Biotechnology for Biofuels*. 10(1), 1–16. doi: 10.1186/s13068-017-0877-y.
 3. Ai B., Chi X., Meng J., Sheng Z., Zheng L., Zheng X., Li J. (2016). Consolidated bioprocessing for butyric acid production from rice straw with undefined mixed culture. *Frontiers in Microbiology*. 7. doi: 10.3389/fmicb.2016.01648.
 4. German L., Schoneveld G.C., Pacheco P. (2011). The Social and Environmental Impacts of Biofuel Feedstock Cultivation: Evidence from Multi-Site Research in the Forest Frontier. *Ecology and Society*. 16 (3), 24. doi: 10.5751/ES-04309-160324.
 5. Yves S., Diamantis A., Stéphane F. (2013). Catalyst technology for biofuel production: Conversion of renewable lipids into biojet and biodiesel. *Oilseeds and fats, crops and lipids*. 20 (5), 502. doi: 10.1051/ocl/2013023.
 6. Haas M.I., Wagner K. (2011). Simplifying biodiesel production: the direct or in situ transesterification of algal biomass. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 113, 1219–1229. doi: 10.1002/ejlt.201100106.
 7. Nascimento I.A., Marques S.S.I., Cabanelas I.T.D., Pereira S.A., Druzian J.I., de Souza C.O. (2013). Screening microalgae strains for biodiesel production: lipid productivity and estimation of fuel quality based on fatty acids profiles as selective criteria. *Bioenerg. Res.* 6, 1–13. doi:10.1007/s12155-012-9222-2.
 8. Behera S., Singh R., Arora R., Sharma N., Shukla M., Kumar S. (2015). Scope of algae as third generation biofuels, 2, 90. doi: 10.3389/fbioe.2014.00090.
 9. Afify A.M.M., Shanab S.M., Shalaby E.A. (2010). Enhancement of biodiesel production from different species of algae. *Grasas y Aceites* 61, 416–422. doi: 10.3989/gya.021610.
 10. Chen C.Y., Zhao X.Q., Yen H.W., Ho S.H., Cheng C.L., Bai F. (2013). Microalgae-based carbohydrates for biofuel production. *Biochem. Eng. J.* 78, 1–10. doi:10.1016/j.bej.2013.03.006.
 11. Ho S.H., Chen C.Y., Lee D.J., Chang J.S. (2011). Perspectives on microalgal CO₂-emission mitigation systems—a review. *Biotechnol. Adv.* 29, 189–198. doi:10.1016/j.biotechadv.2010.11.001.
 12. Brewer Paul J., Brown Richard J.C., Keates Adam C. (2010). Sensitivities of a Standard Test Method for the Determination of the pH of Bioethanol and Suggestions for Improvement. *Sensors*. 10 (11), 9982–9993. doi: 10.3390/s101109982.
 13. Mukherjee V., Radecka D., Aerts G., Verstrepen K.J., Lievens B., Thevelein J.M. (2017). Phenotypic landscape of non-conventional yeast species for different stress tolerance traits desirable in bioethanol fermentation. *Biotechnology for Biofuels*. 10 (1), 1–19. doi: 10.1186/s13068-017-0899-5.

References

1. Lebedevas S., Pukalskas S., Žaglinskis J., Matijošius J. (2012). Comparative investigations into energetic and ecological parameters of camelina-based biofuel used in the 1Z diesel engine. *Transport*, Vol. 27, Iss. 2, 171–177. doi:

14. Branco Rita H.R., Serafim Luísa S., Xavier Ana M.R.B. (2018). Second Generation Bioethanol Production: On the Use of Pulp and Paper Industry Wastes as Feedstock. *Fermentation*. 5 (1), 4. doi: 10.3390/fermentation5010004.
15. Kim, I-Tae, Yoo, Young-Seok, Yoon, Young-Han, Lee, Ye-Eun, Jo, Jun-Ho, Jeong, W., Kim Kwang-Soo. (2018). Bio-Methanol Production Using Treated Domestic Wastewater with Mixed Methanotroph Species and Anaerobic Digester Biogas. *Water*. 10 (10), 1414. doi: 10.3390/w10101414.
16. Duque A., Manzanares P., González A., Ballesteros M. (2018). Study of the Application of Alkaline Extrusion to the Pretreatment of Eucalyptus Biomass as First Step in a Bioethanol Production Process. *Energies*. 11 (11), 2961. doi: 10.3390/en11112961.
17. Rujiroj T., Rujira J., Tarawipa P., Weerawat P., Kamonrat L. (2018). Kinetic modeling and simulation of biomethanol process from biogas by using aspen plus. *MATEC Web of Conferences*. 192, 3030. doi: 10.1051/mateconf/201819203030.
18. Bharadwaz Y.D., Rao B.G., Rao V.D., Anusha C. (2016). Improvement of biodiesel methanol blends. *Alexandria Engineering Journal*. 55 (2), 1201–1209. doi: 10.1016/j.aej.2016.04.006.

Крижанівський Євстахій Іванович¹, доктор технічних наук, ректор ІФНТУНГ, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48,

Криштопа Святослав Ігорович², доктор технічних наук, завідувач кафедри автомобільного транспорту, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48,

Криштопа Людмила Іванівна³, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48,

Гнип Марія Михайлівна⁴, аспірант кафедри автомобільного транспорту, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48,

Микитій Іван Михайлович⁵, аспірант кафедри автомобільного транспорту, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48,
^{1,2,3,4,5} Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Експериментальні дослідження показателів дизельного двигачеля при його роботі на біометанолі

Анотація. *Виконані дослідження цілеспрямованості використання біометанолу в якості палива по порівнянню з використанням дизельного палива нафтяного походження в дизельних двигачелях, переоборудованих на роботу на спиртах. Досліджені експериментальні залежності ефективної потужності і удельного витрати палива від ча-*

стоти вращення коленчатого вала для базового дизельного і конвертированного на метанол двигачеля. Установлено, що при переводі дизельного двигачеля на роботу на метанолі не происходит снижения мощностных показателей двигателя. Анализ отработанных газов при переводе дизельного двигачеля на работу на метанолі показывает, что на всех режимах работы двигателя происходит снижение выбросов оксидов азота (до 54 %) и оксида углерода (до 89 %).

Ключевые слова: *дизельный двигатель, биоматериалы, водоросли, метанол, мощностные характеристики, экологические показатели.*

Крижановский Евстафий Иванович¹, доктор технических наук, ректор ИФНТУНГ, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48,

Криштопа Святослав Игоревич², доктор техн-наук, заведующий кафедрой автомобильного транс-спорту, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48,

Криштопа Людмила Ивановна³, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48,

Гнип Мария Михайловна⁴, аспирант кафедры автомобильного транспорта, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48,

Микитий Иван Михайлович⁵, аспирант кафедры автомобильного транспорта, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48,
^{1,2,3,4,5} Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, 76019, г. Івано-Франковск, ул. Карпатская, 15.

Experimental research of the diesel engine indicators when it works on biomethanol

Abstract. Problem. *The problem is that in Ukraine and in the world today there is an urgent multifaceted problem of meeting the demand for road transport in cheap and environmentally friendly fuel, not of oil origin. Goal.* *The goal of this article is experimental study of:*

- changes in the power characteristics of automobile diesel engines when used in these engines of methanol, which is obtained from elode;

- changes in the environmental performance of automotive diesel engines when used in these engines of methanol, which is obtained from elode. Methodology. *At the first stage, parameters of the engine, which worked on diesel fuel, were investigated. At the second stage, the compression ratio was reduced to 14.1 by removing the head of the block and installing two additional gaskets under the head. Next, the engine parameters that worked on methanol were studied. Results.* *The experimental dependences of the effective power N and the specific fuel consumption ge on the crankshaft rotational speed n for the base diesel and the methanol-converted engine are investigated. Experimental dependencies of the content of hydrocarbons C_nH_m and carbon monoxide CO on the rotational speed of the crankshaft engine n*

for the base diesel engine and converted to methanol; Experimental dependences of the content of NO_x and carbon dioxide CO₂ on the crankshaft rotational speed of the engine n for the base diesel engine and the methanol-convertible. **Originality.** The obtained results allow to optimize the choice of fuels for power systems of internal combustion engines and to reduce emissions of harmful substances in exhaust gases of automobile diesel engines. **Practical value.** When transferring a diesel engine to operation on methanol there is no reduction of power engine parameters; the analysis of the exhaust gases during the transfer of the diesel engine to work on methanol shows that in all modes of operation of the engine there is a reduction in emissions of nitrogen oxides (up to 54%) and carbon monoxide (up to 89%).

Keywords. Diesel engine, biomaterials, algae, methanol, powerful characteristics, environmental performance.

Kryzhanivskiy Yevstahiy Ivanovych¹, Doctor of Technical Sciences, rector IFNTUNG, e-mail: trans@nung.edu.ua, tel: (0342) 72-71-48,

Kryshtopa Svyatoslav Igorovych², Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Automobile Transport, e-mail: trans@nung.edu.ua, tel: (0342) 72-71-48,

Kryshtopa Lyudmyla Ivanivna³, PhD, Associate Professor, e-mail: trans@nung.edu.ua, tel: (0342) 72-71-48,

Няч Мария Михайлівна⁴, post-graduate student of the Department of Automobile Transport, e-mail: trans@nung.edu.ua, tel: (0342) 72-71-48,

Мякитій Іван Михайлович⁵, postgraduate student of the Department of Automobile Transport, e-mail: trans@nung.edu.ua, tel: (0342) 72-71-48,
^{1,2,3,4,5} Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, 76019, Ivano-Frankivsk, str. Carpathian, 15.