

**ВПЛИВ ВИДУ ПАЛИВА НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ
АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА**

Автомобільний транспорт є одним з найбільших споживачів палив нафтового походження та забруднювачів навколишнього середовища. Тому актуальними є дослідження спрямовані на розширення паливної бази для автомобільного транспорту і раціональне використання альтернативних палив. На даний час в Україні найбільш поширеними альтернативними паливами є спиртовмісний бензин з об'ємним вмістом біоетанолу до 50 % та зріджений нафтовий газ. Перевагою даних палив є те, що їх можна використовувати в двигунах автомобілів без внесення значних конструкційних змін. В даній статті наведено результати досліджень паливо-економічних та екологічних показників автомобільного двигуна за роботи на традиційному бензині А-95 та таких альтернативних паливах, як спиртовмісний бензин Е40 та зріджений нафтовий газ. В результаті досліджень встановлено, що за роботи двигуна на спиртовмісному бензині Е40 підвищується годинна масова та питома ефективна витрата палива в середньому на 12 %. Об'ємна витрата палива за роботи двигуна на спиртовмісному бензині вища в середньому на 8,5 %. Знижуються концентрації незгорілих вуглеводнів C_mH_n в середньому на 10,4 %, концентрації NO_x зменшуються в середньому на 3,5 %. За роботи двигуна на ЗНГ знижуються годинна масова та питома ефективна витрата палива. Зниження витрати палива становить в середньому 16,35 %. Об'ємна витрата палива за роботи двигуна на ЗНГ вища в середньому на 12 %. Зростають концентрації незгорілих вуглеводнів C_mH_n у ВГ двигуна порівняно з роботою на бензині А-95 в середньому на 36 %. Знижуються концентрації оксидів азоту NO_x у ВГ двигуна. Зниження NO_x становить в середньому 11,6 %.

Ключові слова: паливна економічність, екологічні показники, паливо, спиртовмісний бензин, зріджений нафтовий газ.

ВСТУП

Одним із важливих завдань перед дослідниками в галузі автомобільного транспорту є розширення паливної бази. Воно обумовлене обмеженими світовими запасами нафти та екологічними проблемами спричиненими викидами забруднюючих речовин, що утворюються при згоранні палив нафтового походження в циліндрах двигунів внутрішнього згорання автомобілів. На даний час основними паливами на автомобільному транспорті є бензин і дизельне паливо, яке отримують під час переробки нафти.

У світі активно проводять дослідження по використанню так званих низьковуглецевих та безвуглецевих палив. До низьковуглецевих палив належать різні види біопалива, а також синтетичні палива отримані методом Фішера-Тропша. Даний метод полягає в синтезі рідких палив із газів [1-2]. В даний час ведуться дослідження по створенню та використанню так званого "електронного палива" (e-fuel), сировиною для якого є вуглекислий газ з атмосферного повітря і водень, отриманий з використанням електроенергії з відновлюваних джерел (енергія сонця, вітру і т.д.) [3]. Але поки використання такого палива не набуло поширення, через його високу собівартість. До безвуглецевих палив належать водень (H_2) і аміак (NH_3). Використання водню в двигунах внутрішнього згорання обмежене складністю його зберігання на борту автомобіля і відсутністю на даний час ефективних конструкцій двигунів адаптованих до згорання водню. До недоліків аміаку належать його токсичність і менша, порівняно з традиційними паливами, теплота згорання.

У даний час до найбільш перспективних заміників традиційних палив належать ті, які можна отримати із поновлюваної сировини або побічних продуктів переробки в різних галузях промисловості. До палив з поновлюваної сировини належать спирти, отримані внаслідок бродіння біомаси, біогаз, ефіри рослинних олій. До альтернативних палив також належить зріджений нафтовий газ (ЗНГ) добутий з газоконденсатних родовищ [4].

В Україні в якості альтернативних палив для двигунів легкових автомобілів найбільшого поширення набуло використання зрідженого нафтового газу та спиртовмісного бензину з вмістом біоетанолу до 50 %. Ці палива в даний час можна придбати на автозаправних станціях України. Разом з тим, актуальними є дослідження по їх раціональному використанню в двигунах автомобілів, що перебувають в експлуатації.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Результати досліджень використання спиртовмісних бензинів та зрідженого нафтового газу в якості палива для автомобільних двигунів представлено в ряді наукових робіт вітчизняних і

іноземних вчених. В роботі [5] наведено результати досліджень енергетичних, екологічних та паливо-економічних показників двигунів VA3-2103 та Volkswagen BBU в широкому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимів при використанні бензину з 10 та 20% добавкою біоетанолу. Випробування проведено з різним регулюванням системи живлення. Перший тип регулювання – збіднений, другий тип регулювання – оптимальний. За результатами проведених експериментальних досліджень у роботі [6] встановлено, що за наявності в експлуатації автомобілів з різними регулюваннями доцільно обмежити розмір добавки біоетанолу до бензину в кількості 10% за об'ємом. Також встановлено, що додавання біоетанолу до бензину в кількості 20% за об'ємом не призведе до погіршення екологічних показників карбюраторного та двигуна із системою впорскування палива без внесення змін до конструкції.

Для подолання негативного впливу підвищеної теплоти випаровування сумішей бензину з добавкою біоетанолу на роботу ДВЗ прийнято застосовувати додатковий підігрів двигуна. В роботі [7] на авіаційному 12-ти циліндровому бензиновому двигуні вхідне повітря підігрівали за рахунок теплоти відпрацьованих газів. Впускний повітропровід виконано у вигляді труби більшого діаметру, розташованої навколо випускного колектору. Температуру підігріву повітря регулювали за допомогою дросельних заслінок. Під час випробування встановлено, що мінімальна температура підігріву вхідного повітря при використанні бензину з добавкою спирту 20% та 40 % за об'ємом становить 15 та 30°C відповідно. Конструкція підігрівача давала змогу регулювати температуру вхідного повітря в широкому діапазоні (до 90 °C).

При використанні спиртовмісного бензину зменшуються концентрації CO та C_mH_n . Також спостерігається незначне зменшення оксидів азоту в порівнянні з роботою двигуна на бензині [7].

Дослідження показників транспортних засобів, що працюють на зрідженому нафтовому газі, показали, що за роботи на ЗНГ знижуються викиди CO_2 та CO, порівняно з роботою на бензині [8-12]. Разом з тим, різниця у викидах NO_x та C_mH_n не така чітка, причому в деяких дослідженнях менші значення викидів отримані за роботи на бензині. Частина дослідників наголошують на необхідності врахування конструкції двигуна автомобіля та його технічного стану при оцінці екологічних показників при використанні ЗНГ. Наприклад, встановлено, що використання ЗНГ приводить до зменшення викидів твердих частинок в двигунах нового покоління з безпосереднім впорскуванням палива [13-15]. У старіших двигунах зниження викидів твердих частинок не виявлено [16-17]. У ряді робіт [18-20] зазначено про зниження викидів CO при русі автомобіля в міських умовах та роботі двигуна на ЗНГ в режимах холостого ходу. Деякі автори повідомляють про незначне збільшення викидів NO_x при використанні ЗНГ, через вищі температури згоряння та більш раннє займання [11], тоді як інші дослідження вказують на значне зниження - до 41% у чотиритактних двигунах та 64% у двотактних двигунах [18, 21]. Ці відмінності головним чином зумовлені особливостями протікання процесу згорання, різними коефіцієнтами надлишку повітря, налаштуванням системи запалювання та конструктивними параметрами двигуна [22].

Щодо викидів незгорілих вуглеводнів, сучасні транспортні засоби, що працюють на ЗНГ з ефективними системами нейтралізації відпрацьованих газів, зазвичай мають нижчі значення, ніж автомобілі з бензиновим двигуном [10, 21, 23]. Разом з тим, при використанні ЗНГ у старіших двигунах або при неоптимальному регулюванні системи живлення ці викиди можуть бути порівнянними або навіть вищими [16, 24]. Важливим є також якісний склад вуглеводнів. Зокрема, при згоранні ЗНГ утворюється більше легких алканів, тоді як при спалюванні бензину - більше ароматичних сполук та олефінів з вищим потенціалом утворення озону, що робить ЗНГ більш корисним з точки зору вторинного фотохімічного смогу [25].

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для визначення впливу виду палива на паливну економічність та екологічні показники автомобільного двигуна було проведено стендові експериментальні дослідження сучасного двигуна з системою впорскування та зворотнім зв'язком за роботи на товарному бензині А-95, спиртовмісному бензині та зрідженому нафтовому газі. Дослідження проведені в лабораторії випробування двигунів кафедри «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету. Об'єктом експериментальних досліджень є двигун з іскровим запалюванням 4C 7,65/7,56 (VW BBU), який дообладнано системами живлення зрідженим нафтовим газом і приєднаний до гальмівної машини (Рис. 1).

Двигун дообладнано системою впорскування зрідженого нафтового газу четвертого покоління STAG-4, до складу якої входять: редуктор Tomasetto Nordic, форсунки AC W-02, мультиклапан

Tomasetto з ВЗП R67-00 класу А та балон Novogas 42 л. Система живлення даного двигуна забезпечує його роботу як на бензині, так і на ЗНГ.

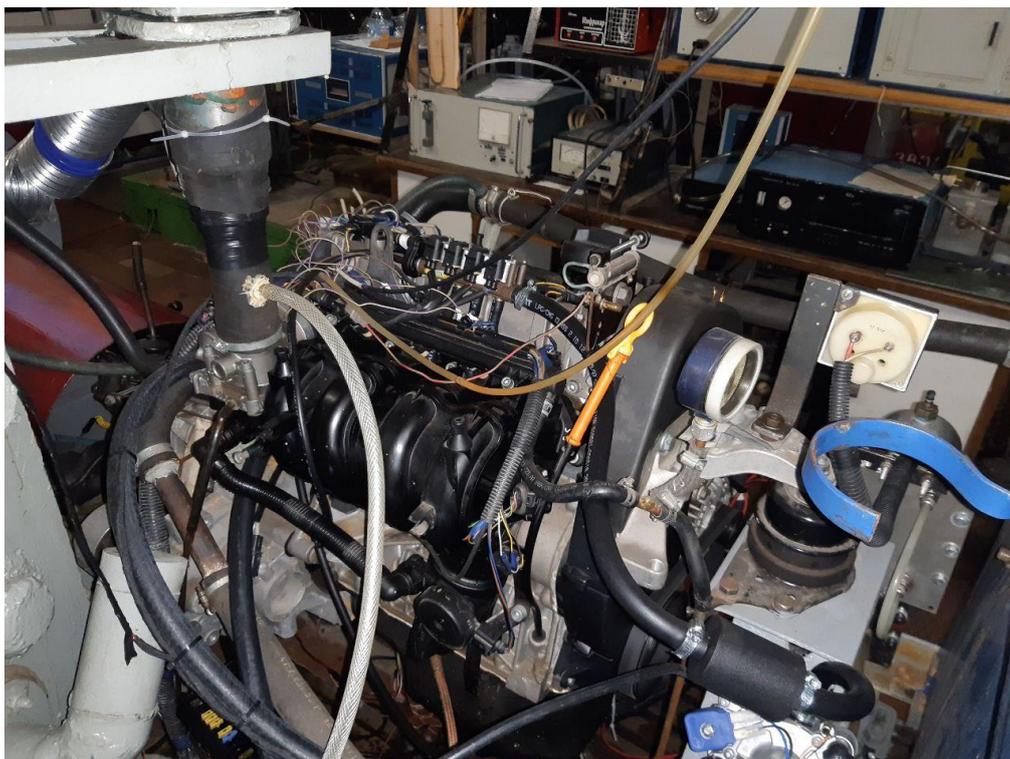


Рисунок 1 – Об'єкт експериментальних досліджень - двигун 4C 7,65/7,56 (VW BBY) із сучасною системою впорскування палива

Вимірювання витрат товарного і спиртовмісного бензинів А95 і Е40 проводили ваговим методом за допомогою електронних терезів МЕРА ВМ 2/3 (Рис. 2).



Рисунок 2 – Електронні терези МЕРА ВМ 2/3

Витрату зрідженого нафтового газу під час стендових випробувань вимірювали масовим витратоміром палива коріолісового типу FlexCOR (рис. 3), який було підключено в розрив паливної магістралі високого тиску між газовим балоном та редуктором з якого відбувалося живлення двигуна під час випробувань.



Рисунок 3 – Масовий витратомір палива коріюлісового типу FlexCOR

Об'ємний вміст шкідливих речовин у ВГ (CO , CO_2 , C_mH_n , NO_x) і коефіцієнту надміру повітря визначали газоаналізатором Bosch BEA 060.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У даному дослідженні використано спиртовмісний бензин Е40 з вмістом біоетанолу близько 40 %. Перед проведенням стендових досліджень було проведено аналіз даного палива в незалежному випробувальному центрі паливо-мастильних матеріалів ТОВ «ВЦ ПММ» (паспорт якості № 5856). Результати аналізу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати аналізу спиртовмісного бензину Е40

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Результати аналізу	Методи випробування
1	Густина за температури 20 °С	кг/м ³	749.7	ГОСТ 3900-85
2	Об'ємна частка ароматичних вуглеводнів	%	11.7	ASTM D 6733-01
3	Об'ємна частка бензолу	%	0.97	ASTM D 6733-01
4	Об'ємна частка кисневмісних сполук: - метанол - етанол - ізопропіловий спирт - ізобутиловий спирт - третбутиловий спирт - МТБЕ - <i>n</i> -бутанол	%	<0.1 34.3 0 0 <0.1 2.3 1.9	ASTM D 6733-01

Як видно з таблиці 1 основною кисневмісною сполукою в даному паливі є етанол, об'ємна частка якого складає 34,3 %. З врахуванням інших кисневмісних компонентів загальна об'ємна частка спиртових сполук становить 38,5 %.

Використовуючи компонентний склад спиртовмісного бензину і нижчі теплоти згорання окремих компонентів розраховано його нижчу теплоту згорання за залежністю:

$$H_{u\text{ сум}} = \sum_{i=1}^m H_{ui} g_i \quad (1)$$

де H_{ui} – нижча теплота згорання окремих складових суміші.

В результаті розрахунку встановлено, що для обраного для досліджень спиртовмісного бензину Е40 нижча теплота згорання становить 37,3595 МДж/кг. Для товарного бензину А-95 прийнято табличне значення нижчої теплоти згорання 44,0 МДж/кг, для ЗНГ – 46,0 МДж/кг [1].

Для визначення впливу виду палива на паливну економічність та екологічні показники двигуна з іскровим запалюванням визначено порівняльні навантажувальні характеристики за роботи двигуна на товарному бензині А-95, спиртовмісному бензині Е40 та ЗНГ. Навантажувальні характеристики визначено за частоти обертання колінчастого вала 2200 хв⁻¹, яка відповідає частоті обертання при русі автомобіля VW Lupo з даним двигуном в режимі середньої точки Європейського міського їздового циклу.

На рис. 4 показані навантажувальні характеристики двигуна за роботи на бензині А-95 і спиртовмісному бензині Е40.

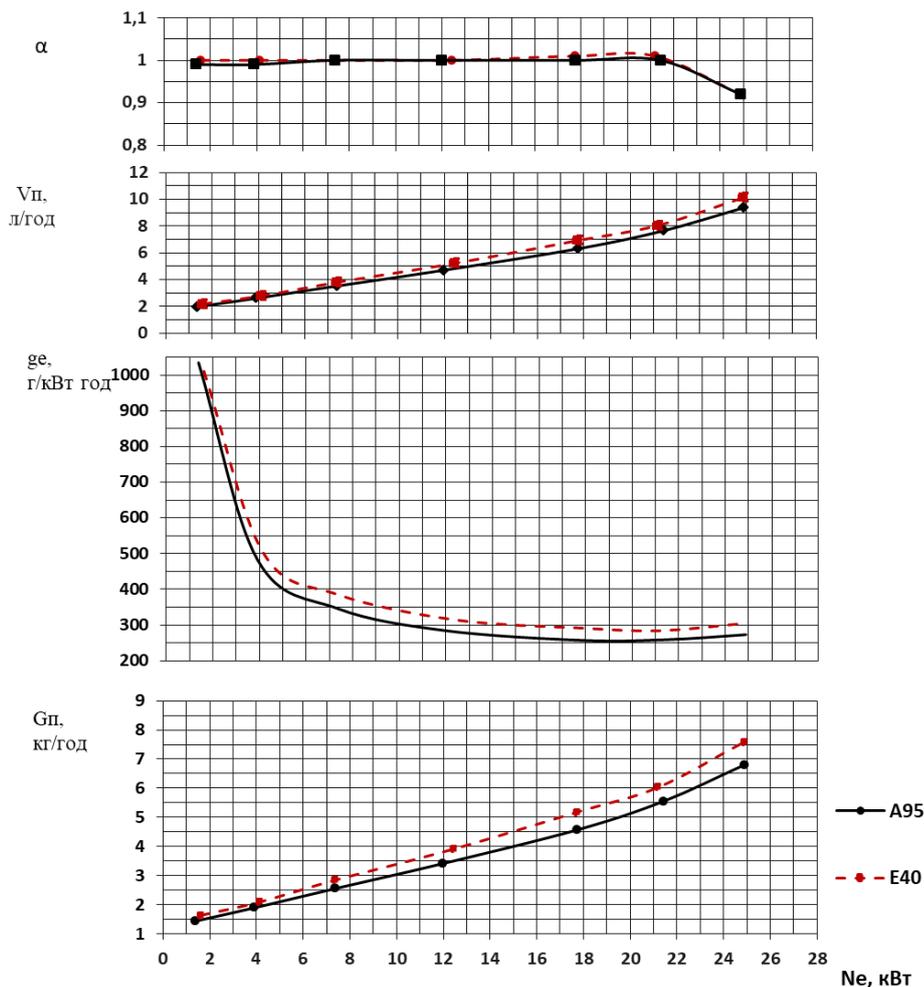


Рисунок 4 - Навантажувальна характеристика бензинового двигуна 4Ч 7,65/7,56 (VW BBU) за роботи на бензині А95 та спиртовмісному бензині Е40 ($n=2200$ хв⁻¹)

Як видно з рис. 4, за роботи двигуна на спиртовмісному бензині Е40 підвищується годинна масова та питома ефективна витрата палива в усьому діапазоні навантажень для даного швидкісного режиму. Зокрема, витрата палива підвищується в середньому на 12 %. Підвищення витрати спиртовмісного бензину Е40 можна пояснити меншою його нижчою теплотою згорання порівняно з товарним бензином А-95. Разом з тим, якщо врахувати, що автозаправні станції реалізують паливо в об'ємних одиницях, то доцільно оцінити зміну об'ємної витрати палива. Як видно з рис. 2, об'ємна витрата палива за роботи двигуна на спиртовмісному бензині вища в середньому на 8,5 %. Дещо менше підвищення об'ємної витрати спиртовмісного бензину можна пояснити більшою його густиною (0,75 кг/л для Е40 і 0,726 кг/л для А-95). Оскільки даний двигун обладнаний системою керування зі зворотнім зв'язком, то коефіцієнт надміру повітря α підтримується близьким до 1 за

роботи на обох паливах. Крім того, за роботи на бензині А-95 та спиртовмісному бензині Е40 досягається однакова максимальна потужність двигуна.

На рис. 5 показано зміну паливо-економічних показників двигуна в залежності від навантаження за роботи на бензині А-95 і ЗНГ.

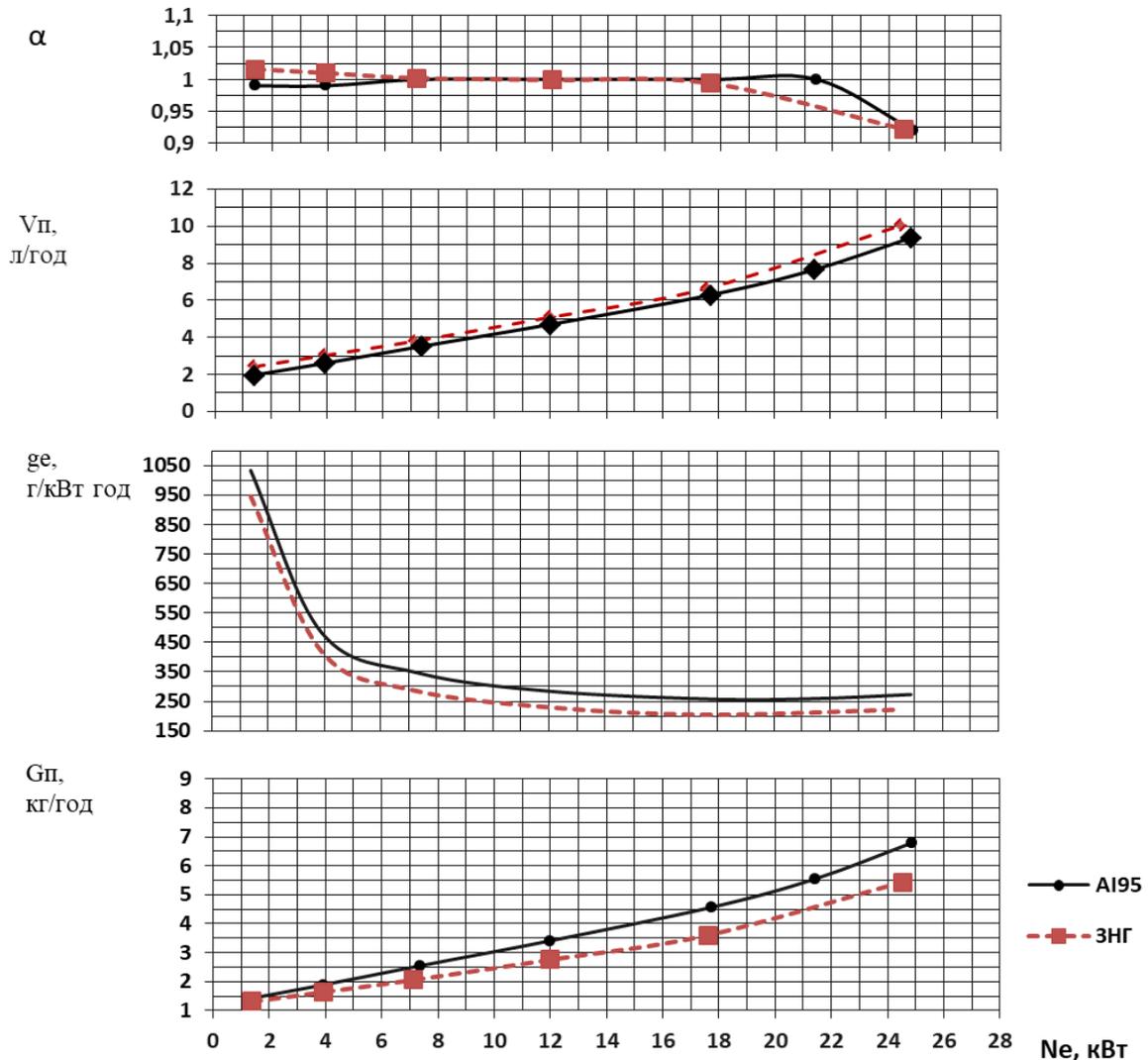


Рисунок 5 - Навантажувальна характеристика двигуна VW BBU за роботи на бензині А95 та зрідженому нафтовому газі ($n=2200$ хв⁻¹)

Як видно з рис. 5, за роботи двигуна на ЗНГ знижуються годинна масова та питома ефективна витрата палива. Зниження витрати палива становить в середньому 16,35 %. Це можна пояснити більш високим значенням нижчої теплоти згорання зрідженого нафтового газу порівняно з бензином. Разом з тим, як видно з рисунку, об'ємна витрата палива за роботи двигуна на ЗНГ вища в середньому на 12 %, що відповідає результатам раніше проведених досліджень з використання зрідженого нафтового газу на транспорті [26]. Коефіцієнт надміру повітря α підтримується близьким до 1 за роботи на обох паливах. Разом з тим, як видно з рис 5, за роботи на ЗНГ дещо знижується максимальна потужність двигуна. Зниження максимальної потужності становить 1,4 % (з 24,88 до 24,53 кВт), що не призведе до значного погіршення тягово-швидкісних властивостей автомобіля при використанні ЗНГ в якості палива.

На рис. 6 показано екологічні показники двигуна з іскровим запалюванням за роботи на бензині А-95 та спиртовмісному бензині Е40.

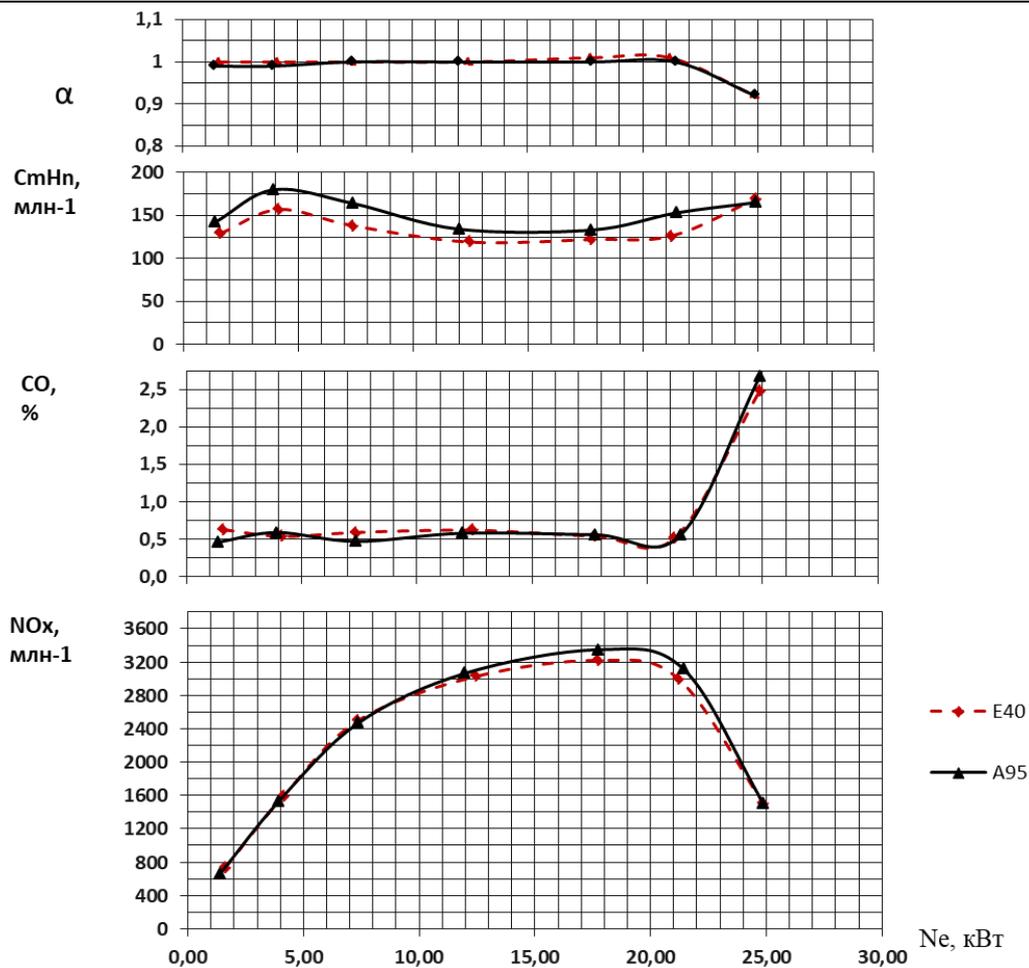


Рисунок 6 – Екологічні показники бензинового двигуна 4Ч 7,65/7,56 (VW BBY) за роботи на бензині А95 та спиртовмісному бензині Е40 ($n=2200 \text{ хв}^{-1}$)

Як видно з рисунку, за роботи двигуна на спиртовмісному бензині у відпрацьованих газах двигуна знижуються концентрації незгорілих вуглеводнів C_mH_n . Концентрації C_mH_n знижуються в середньому на 10,4 %. Концентрації CO за роботи на обох паливах практично не відрізняються. Концентрації оксидів азоту NO_x за роботи двигуна на спиртовмісному бензині Е40 з навантаженням до 10 кВт практично не змінюються порівняно з роботою на бензині А-95. Разом з тим, за роботи двигуна з вищим навантаженням при використанні спиртовмісного бензину концентрації NO_x зменшуються в середньому на 3,5 %.

На рис. 7 показано зміну концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигуна в залежності від навантаження за роботи на бензині А-95 та ЗНГ.

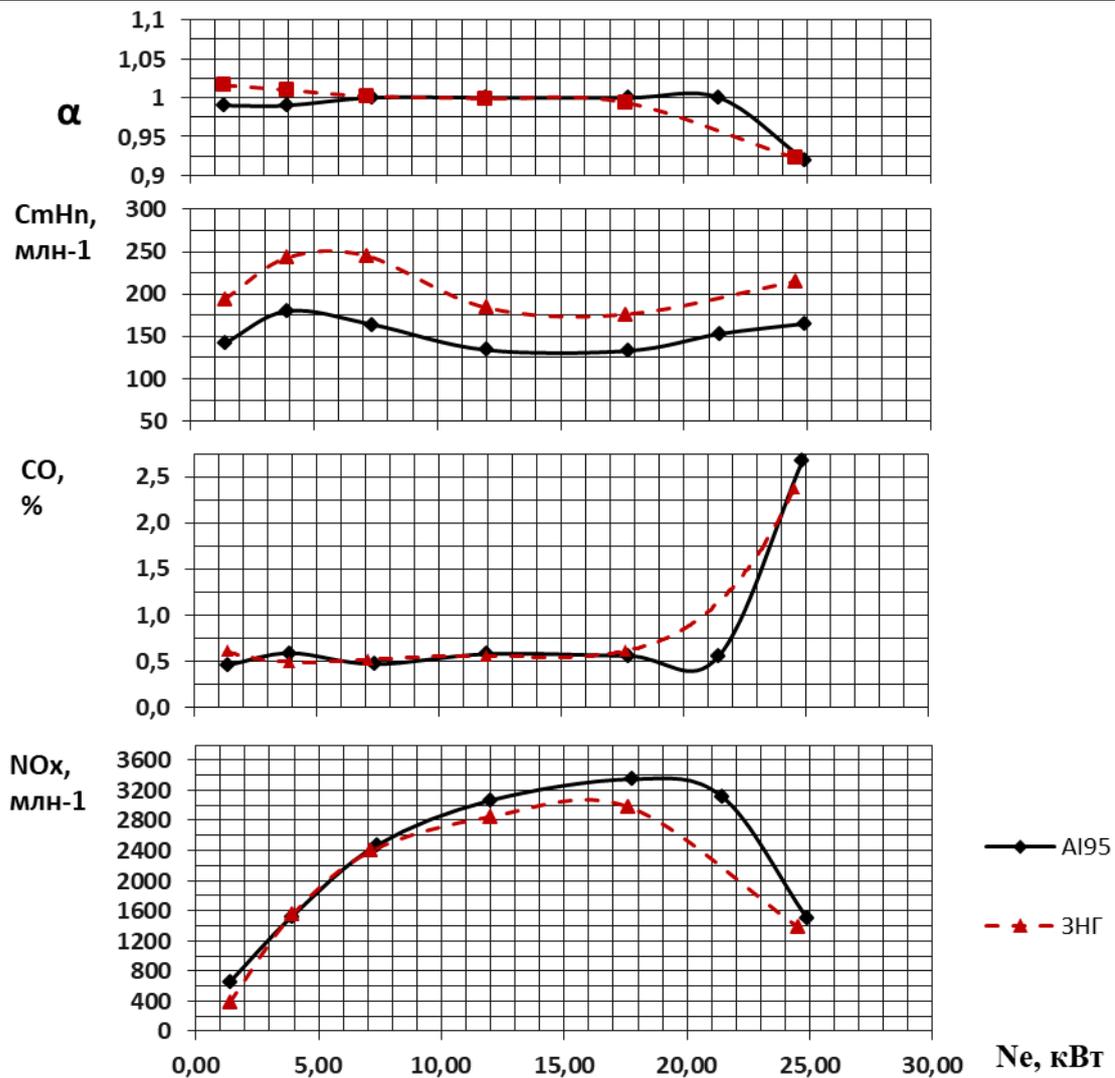


Рисунок 7 - Екологічні показники бензинового двигуна 4Ч 7,65/7,56 (VW BBU) за роботи на бензині А95 та зрідженому нафтовому газі ($n=2200 \text{ хв}^{-1}$)

Як видно з рис. 7, за роботи двигуна на зрідженому нафтовому газі зростають концентрації незгорілих вуглеводнів C_mH_n у ВГ двигуна порівняно з роботою на бензині А-95. Концентрації C_mH_n зростають в середньому на 36 %. Концентрації CO за роботи на ЗНГ практично не змінюються порівняно з роботою двигуна на бензині А-95. Разом з тим, за роботи двигуна на ЗНГ знижуються концентрації оксидів азоту NO_x у ВГ двигуна. Зниження NO_x становить в середньому 11,6 %.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

В результаті досліджень встановлено, що за роботи на найбільш поширених в Україні альтернативних паливах: спиртовмісному бензині та зрідженому нафтовому газі досягаються такі ж енергетичні показники двигуна, як і за роботи на традиційному бензині. Це дозволяє використовувати їх на автомобільному транспорті, замість традиційного бензину, без погіршення тягово-динамічних показників. Разом з тим, паливо-економічні показники двигуна за роботи на різних паливах відрізняються. Зокрема, найнижча витрата палива в масових одиницях спостерігається за роботи двигуна на ЗНГ, в об'ємних одиницях – за роботи на бензині А-95. Тому для вибору раціонального виду палива за критерієм паливної економічності необхідно провести додаткові дослідження по визначенню експлуатаційної витрати палива автомобілем з двигуном, що працює на різних видах палива з врахуванням вартості кожного палива.

Дослідження екологічних показників показали, що за роботи двигуна на спиртовмісному бензині Е40 знижуються концентрації незгорілих вуглеводнів. Це можна пояснити наявністю кисню в спиртовмісному бензині, що приводить до зменшення утворення продуктів неповного згорання. Також за роботи двигуна на бензині Е40 дещо знижуються концентрації оксидів азоту. За роботи двигуна на ЗНГ зростають концентрації незгорілих вуглеводнів і знижуються концентрації оксидів

азоту. Разом з тим, слід зазначити, що в раніше проведених дослідженнях не було встановлено однозначний вплив використання ЗНГ на утворення NO_x , тому є доцільним проведення подальших досліджень екологічних показників двигуна в різних режимах роботи.

Для об'єктивної оцінки впливу виду палива на екологічні показники двигуна і автомобіля доцільно визначити масові викиди забруднюючих речовин в різних швидкісних та навантажувальних режимах, які характерні для експлуатації автомобіля.

ВИСНОВКИ

1. В результаті досліджень встановлено, що за роботи двигуна на спиртовмісному бензині Е40 підвищується годинна масова та питома ефективна витрата палива в усьому діапазоні навантажень за роботи двигуна з частотою обертання колінчастого вала 2200 хв^{-1} . Зокрема, витрата палива підвищується в середньому на 12 %. Об'ємна витрата палива за роботи двигуна на спиртовмісному бензині вища в середньому на 8,5 %.

2. Встановлено, що за роботи двигуна на спиртовмісному бензині у відпрацьованих газах двигуна знижуються концентрації незгорілих вуглеводнів C_mH_n . Концентрації C_mH_n знижуються в середньому на 10,4 %. Концентрації CO за роботи на обох паливах практично не відрізняються. Концентрації оксидів азоту NO_x за роботи двигуна на спиртовмісному бензині Е40 з навантаженням до 10 кВт практично не змінюються порівняно з роботою на бензині А-95. Разом з тим, за роботи двигуна з вищим навантаженням при використанні спиртовмісного бензину концентрації NO_x зменшуються в середньому на 3,5 %.

3. Встановлено, що за роботи двигуна на ЗНГ знижуються годинна масова та питома ефективна витрата палива. Зниження витрати палива становить в середньому 16,35 %. Об'ємна витрата палива за роботи двигуна на ЗНГ вища в середньому на 12 %.

4. Встановлено, що за роботи двигуна на зрідженому нафтовому газі зростають концентрації незгорілих вуглеводнів C_mH_n у ВГ двигуна порівняно з роботою на бензині А-95. Концентрації C_mH_n зростають в середньому на 36 %. Концентрації CO за роботи на ЗНГ практично не змінюються порівняно з роботою двигуна на бензині А-95. Разом з тим, за роботи двигуна на ЗНГ знижуються концентрації оксидів азоту NO_x у ВГ двигуна. Зниження NO_x становить в середньому 11,6 %.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Jin, N., Long, W., Xie, C., & Tian, H. (2025). After-Treatment Technologies for Emissions of Low-Carbon Fuel Internal Combustion Engines: Current Status and Prospects. *Energies*, 18(15), 4063. <https://doi.org/10.3390/en18154063>

2. Dell'Aversano, S., Villante, C., Gallucci, K., Vanga, G., & Di Giuliano, A. (2024). E-Fuels: A Comprehensive Review of the Most Promising Technological Alternatives towards an Energy Transition. *Energies*, 17(16), 3995. <https://doi.org/10.3390/en17163995>

3. Leonardo Colelli, Sonia Dell'Aversano, Claudia Bassano, Giuseppina Vanga, Katia Gallucci, Giorgio Vilardi, Liquid e-fuels for a sustainable future: A comprehensive review of production, regulation, and technological innovation, *Energy Conversion and Management*, Volume 347, 2026, 120529, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.120529>.

4. Про альтернативні види палива : Закон України від 14 січня 2000 р. № 1391-XIV // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1391-14> (дата звернення: 02.11.2025).

5. Кульбако В.П. Покращення екологічних показників автомобіля в експлуатаційних умовах добавкою біоетанолу до бензину : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.20 / Кульбако Валентин Петрович; Національний транспортний університет. К., 2012. – 20 с.

6. Гутаревич Ю.Ф. Використання спиртових сполук як добавок до бензинів для розширення паливної бази автомобільного транспорту [Текст] / Ю.Ф. Гутаревич, В.С. Устименко, В.П. Кульбако, І.В. Самойленко // Вісник Національного транспортного університету : науково-технічний збірник. – М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУ ; гол. ред. М. Ф. Дмитриченко. – Київ, 2011. – Вип. 22. – С. 19-24.

7. Гайдай О. О. Екологічні та експлуатаційні характеристики палива моторного біологічного Е-85. — [Електронний ресурс] / [О. О. Гайдай, С. О. Зубенко, Є. В. Полункін, В. С. Пилявський] // Збірник наукових статей III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю. — Вінниця, 2011. — Т. 1. — С. 308–310. — Режим доступу: <http://eco.com.ua/>

8. Lyu, M.; Xu, Y.; Huang, M.; Wang, Y. Real World Emissions in a High-Altitude City: A Comparison between LPG Taxis and Gasoline Cars. In Proceedings of the WCX SAE World Congress Experience, Detroit, MI, USA, 8–10 April 2025.
9. Šarkan, B.; Jaškiewicz, M.; Kubiak, P.; Tarnapowicz, D.; Loman, M. Exhaust Emissions Measurement of a Vehicle with Retrofitted LPG System. *Energies* 2022, 15, 1184.
10. Bellin, T.; Casadei, S.; Rossi, T.; Bernetti, A.; De Lauretis, R.; Lonati, G. Determination of Euro 6 LPG Passenger Car Emission Factors through Laboratory and On-Road Tests: Effect on Nation-Wide Emissions Assessment for Italy. *Atmos. Environ. X* 2022, 15, 100186.
11. Talib Hashem, G.; Al-Dawody, M.F.; Sarris, I.E. The Characteristics of Gasoline Engines with the Use of LPG: An Experimental and Numerical Study. *Int. J. Thermofluids* 2023, 18, 100316. [Google Scholar] [CrossRef]
12. Ristovski, Z.D.; Jayaratne, E.R.; Morawska, L.; Ayoko, G.A.; Lim, M. Particle and Carbon Dioxide Emissions from Passenger Vehicles Operating on Unleaded Petrol and LPG Fuel. *Sci. Total Environ.* 2005, 345, 93–98.
13. Kontses, A.; Triantafyllopoulos, G.; Ntziachristos, L.; Samaras, Z. Particle Number (PN) Emissions from Gasoline, Diesel, LPG, CNG and Hybrid-Electric Light-Duty Vehicles under Real-World Driving Conditions. *Atmos. Environ.* 2020, 222, 117126.
14. Lou, D.; Qi, B.; Zhang, Y.; Fang, L. Research on the Emission Characteristics of a Passenger Car Powered by Ethanol, Methanol, and Liquefied Petroleum Gas Under Real-World Running Conditions. *J. Energy Resour. Technol.* 2023, 145, 042303.
15. Špička, L.; Poul, A.; Huzlík, J.; Bucková, M.; Hegrová, J.; Ličbinský, R. Comparison of High Mileage LPG Cars in Different Technical Condition in Czechia: Particle-Bound PAHs. *Atmos. Environ. X* 2024, 23, 100294.
16. Špička, L.; Poul, A.; Huzlík, J.; Bucková, M.; Hegrová, J.; Ličbinský, R. Comparison of High Mileage LPG Cars in Different Technical Condition in Czechia: Particle-Bound PAHs. *Atmos. Environ. X* 2024, 23, 100294.
17. Chikhi, S.; Boughedaoui, M.; Kerbachi, R.; Joumard, R. On-Board Measurement of Emissions from Liquefied Petroleum Gas, Gasoline and Diesel Powered Passenger Cars in Algeria. *J. Environ. Sci.* 2014, 26, 1651–1659.
18. Simsek, S.; Uslu, S. Investigation of the Impacts of Gasoline, Biogas and LPG Fuels on Engine Performance and Exhaust Emissions in Different Throttle Positions on SI Engine. *Fuel* 2020, 279, 118528.
19. Duy, V.N.; Duc, K.N.; Van, N.C. Real-Time Driving Cycle Measurements of Fuel Consumption and Pollutant Emissions of a Bi-Fuel LPG-Gasoline Motorcycle. *Energy Convers. Manag.* 2021, 12, 100135.
20. Chłopek, Z.; Lasocki, J.; Sar, H. Study of Dynamic and Ecological Properties of Automotive Bi-Fuel Engine. *Int. J. Energy Environ. Eng.* 2022, 13, 1–10.
21. Usman, M.; Ijaz Malik, M.A.; Ranjha, Q.A.; Arif, W.; Jamil, M.K.; Miran, S.; Siddiqui, S. Experimental Assessment of Performance, Emission and Lube Oil Deterioration Using Gasoline and LPG for a Sustainable Environment. *Case Stud. Therm. Eng.* 2023, 49, 103300.
22. Iodice, P.; Amoresano, A.; Langella, G. A Review on the Effects of Ethanol/Gasoline Fuel Blends on NO_x Emissions in Spark-Ignition Engines. *Biofuel Res. J.* 2021, 8, 1465–1480.
23. Kozłowski, E., Rimkus, A., Zimakowska-Laskowska, M., Matijošius, J., Wiśniowski, P., Traczyński, M., Laskowski, P., & Madlenak, R. (2025). Energy and Environmental Impacts of Replacing Gasoline with LPG Under Real Driving Conditions. *Energies*, 18(20), 5522. <https://doi.org/10.3390/en18205522>
24. Organ, B.; Huang, Y.; Zhou, J.L.; Surawski, N.C.; Yam, Y.-S.; Mok, W.-C.; Hong, G. A Remote Sensing Emissions Monitoring Programme Reduces Emissions of Gasoline and LPG Vehicles. *Environ. Res.* 2019, 177, 108614.
25. Zhang, Y.; Yang, W.; Simpson, I.; Huang, X.; Yu, J.; Huang, Z.; Wang, Z.; Zhang, Z.; Liu, D.; Huang, Z.; et al. Decadal Changes in Emissions of Volatile Organic Compounds (VOCs) from on-Road Vehicles with Intensified Automobile Pollution Control: Case Study in a Busy Urban Tunnel in South China. *Environ. Pollut.* 2018, 233, 806–819.
26. Manko, I.; Shuba, Y.; Korpach, A.; Gutarevyc, S.; Ragulskiene, J.; Pauliukas, A. Measurement of Fuel Consumption and Harmful Emissions of Cars When Using Different Types of Fuel. *J. Meas. Eng.* 2020, 8, 182–196.

REFERENCES

1. Jin, N., Long, W., Xie, C., & Tian, H. (2025). After-Treatment Technologies for Emissions of Low-Carbon Fuel Internal Combustion Engines: Current Status and Prospects. *Energies*, 18(15), 4063. <https://doi.org/10.3390/en18154063>
2. Dell'Aversano, S., Villante, C., Gallucci, K., Vanga, G., & Di Giuliano, A. (2024). E-Fuels: A Comprehensive Review of the Most Promising Technological Alternatives towards an Energy Transition. *Energies*, 17(16), 3995. <https://doi.org/10.3390/en17163995>
3. Leonardo Colelli, Sonia Dell'Aversano, Claudia Bassano, Giuseppina Vanga, Katia Gallucci, Giorgio Vilardi, Liquid e-fuels for a sustainable future: A comprehensive review of production, regulation, and technological innovation, *Energy Conversion and Management*, Volume 347, 2026, 120529, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.120529>.
4. Pro alternatyvni vydy palyva : Zakon Ukrainy vid 14 sichnia 2000 r. № 1391-XIV // Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» / Verkhovna Rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1391-14> (data zvernennia: 02.11.2025).
5. Kulbako V.P. Pokrashchennia ekolohichnykh pokaznykiv avtomobilia v ekspluatatsiinykh umovakh dobavkoiu bioetanolu do benzynu : avtoref. dys. kand. tekhn. nauk : 05.22.20 / Kulbako Valentyn Petrovych; Natsionalnyi transportnyi universytet. K., 2012. – 20 s.
6. Hutarevych Yu.F. Vykorystannia spyrtovykh spoluk yak dobavok do benzyniv dlia rozshyrennia palyvnoi bazy avtomobilnoho transportu [Tekst] / Yu.F. Hutarevych, V.S. Ustymenko, V.P. Kulbako, I.V. Samoilenko // Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu : nauково-tekhnichnyi zbirnyk. – M-vo osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrainy, NTU ; hol. red. M. F. Dmytrychenko. – Kyiv, 2011. – Vyp. 22. – S. 19-24.
7. Haidai O. O. Ekolohichni ta ekspluatatsiini kharakterystyky palyva motornoho biolohichnoho E-85. — [Elektronnyi resurs] / [O. O. Haidai, S. O. Zubenko, Ye. V. Polunkin, V. S. Pyliavskiy] // Zbirnyk naukovykh statei III-ho Vseukrainskoho zizdu ekolohiv z mizhnarodnoiu uchastiu. — Vinnytsia, 2011. — T. 1. — S. 308–310. — Rezhym dostupu: <http://eco.com.ua/>
8. Lyu, M.; Xu, Y.; Huang, M.; Wang, Y. Real World Emissions in a High-Altitude City: A Comparison between LPG Taxis and Gasoline Cars. In *Proceedings of the WCX SAE World Congress Experience*, Detroit, MI, USA, 8–10 April 2025.
9. Šarkan, B.; Jaškiewicz, M.; Kubiak, P.; Tarnapowicz, D.; Loman, M. Exhaust Emissions Measurement of a Vehicle with Retrofitted LPG System. *Energies* 2022, 15, 1184.
10. Bellin, T.; Casadei, S.; Rossi, T.; Bernetti, A.; De Lauretis, R.; Lonati, G. Determination of Euro 6 LPG Passenger Car Emission Factors through Laboratory and On-Road Tests: Effect on Nation-Wide Emissions Assessment for Italy. *Atmos. Environ. X* 2022, 15, 100186.
11. Talib Hashem, G.; Al-Dawody, M.F.; Sarris, I.E. The Characteristics of Gasoline Engines with the Use of LPG: An Experimental and Numerical Study. *Int. J. Thermofluids* 2023, 18, 100316. [Google Scholar] [CrossRef]
12. Ristovski, Z.D.; Jayaratne, E.R.; Morawska, L.; Ayoko, G.A.; Lim, M. Particle and Carbon Dioxide Emissions from Passenger Vehicles Operating on Unleaded Petrol and LPG Fuel. *Sci. Total Environ.* 2005, 345, 93–98.
13. Kontses, A.; Triantafyllopoulos, G.; Ntziachristos, L.; Samaras, Z. Particle Number (PN) Emissions from Gasoline, Diesel, LPG, CNG and Hybrid-Electric Light-Duty Vehicles under Real-World Driving Conditions. *Atmos. Environ.* 2020, 222, 117126.
14. Lou, D.; Qi, B.; Zhang, Y.; Fang, L. Research on the Emission Characteristics of a Passenger Car Powered by Ethanol, Methanol, and Liquefied Petroleum Gas Under Real-World Running Conditions. *J. Energy Resour. Technol.* 2023, 145, 042303.
15. Špička, L.; Poul, A.; Huzlík, J.; Bucková, M.; Hegrová, J.; Ličbinský, R. Comparison of High Mileage LPG Cars in Different Technical Condition in Czechia: Particle-Bound PAHs. *Atmos. Environ. X* 2024, 23, 100294.
16. Špička, L.; Poul, A.; Huzlík, J.; Bucková, M.; Hegrová, J.; Ličbinský, R. Comparison of High Mileage LPG Cars in Different Technical Condition in Czechia: Particle-Bound PAHs. *Atmos. Environ. X* 2024, 23, 100294.
17. Chikhi, S.; Boughedaoui, M.; Kerbachi, R.; Joumard, R. On-Board Measurement of Emissions from Liquefied Petroleum Gas, Gasoline and Diesel Powered Passenger Cars in Algeria. *J. Environ. Sci.* 2014, 26, 1651–1659.

18. Simsek, S.; Uslu, S. Investigation of the Impacts of Gasoline, Biogas and LPG Fuels on Engine Performance and Exhaust Emissions in Different Throttle Positions on SI Engine. *Fuel* 2020, 279, 118528.
19. Duy, V.N.; Duc, K.N.; Van, N.C. Real-Time Driving Cycle Measurements of Fuel Consumption and Pollutant Emissions of a Bi-Fuel LPG-Gasoline Motorcycle. *Energy Convers. Manag.* X 2021, 12, 100135.
20. Chłopek, Z.; Lasocki, J.; Sar, H. Study of Dynamic and Ecological Properties of Automotive Bi-Fuel Engine. *Int. J. Energy Environ. Eng.* 2022, 13, 1–10.
21. Usman, M.; Ijaz Malik, M.A.; Ranjha, Q.A.; Arif, W.; Jamil, M.K.; Miran, S.; Siddiqui, S. Experimental Assessment of Performance, Emission and Lube Oil Deterioration Using Gasoline and LPG for a Sustainable Environment. *Case Stud. Therm. Eng.* 2023, 49, 103300.
22. Iodice, P.; Amoresano, A.; Langella, G. A Review on the Effects of Ethanol/Gasoline Fuel Blends on NO_x Emissions in Spark-Ignition Engines. *Biofuel Res. J.* 2021, 8, 1465–1480.
23. Kozłowski, E., Rimkus, A., Zimakowska-Laskowska, M., Matijošius, J., Wiśniowski, P., Traczyński, M., Laskowski, P., & Madlenak, R. (2025). Energy and Environmental Impacts of Replacing Gasoline with LPG Under Real Driving Conditions. *Energies*, 18(20), 5522. <https://doi.org/10.3390/en18205522>
24. Organ, B.; Huang, Y.; Zhou, J.L.; Surawski, N.C.; Yam, Y.-S.; Mok, W.-C.; Hong, G. A Remote Sensing Emissions Monitoring Programme Reduces Emissions of Gasoline and LPG Vehicles. *Environ. Res.* 2019, 177, 108614.
25. Zhang, Y.; Yang, W.; Simpson, I.; Huang, X.; Yu, J.; Huang, Z.; Wang, Z.; Zhang, Z.; Liu, D.; Huang, Z.; et al. Decadal Changes in Emissions of Volatile Organic Compounds (VOCs) from on-Road Vehicles with Intensified Automobile Pollution Control: Case Study in a Busy Urban Tunnel in South China. *Environ. Pollut.* 2018, 233, 806–819.
26. Manko, I.; Shuba, Y.; Korpach, A.; Gutarevyc, S.; Ragulskiene, J.; Pauliukas, A. Measurement of Fuel Consumption and Harmful Emissions of Cars When Using Different Types of Fuel. *J. Meas. Eng.* 2020, 8, 182–196.

Y. Shuba, O. Dobrovolskyi, O. Marynych. Influence of fuel type on the fuel economy and environmental performance of an automotive engine.

Road transport is among the largest consumers of petroleum-based fuels and one of the main contributors to environmental pollution. Therefore, research focused on expanding the fuel base for vehicles and promoting the efficient use of alternative fuels is of significant importance. Currently, in Ukraine, the most widespread alternative fuels are alcohol–gasoline blends containing up to 50% bioethanol by volume, as well as liquefied petroleum gas (LPG). A key advantage of these fuels is that they can be utilized in internal combustion engines without major structural modifications. This paper presents the results of an experimental investigation into the fuel economy and environmental performance of an automotive engine operating on conventional gasoline A-95 and alternative fuels such as alcohol–gasoline blend E40 and liquefied petroleum gas. The results indicate that when operating on E40, the engine demonstrates an average increase of 12% in hourly mass and specific effective fuel consumption. The volumetric fuel consumption rises by approximately 8.5%. In terms of exhaust emissions, the concentration of unburned hydrocarbons (C_mH_n) decreases by an average of 10.4%, while nitrogen oxides (NO_x) concentrations are reduced by about 3.5%. When operating on LPG, both hourly mass and specific effective fuel consumption decrease, with an average reduction of 16.35%. However, the volumetric fuel consumption increases by approximately 12%. The concentration of unburned hydrocarbons (C_mH_n) in the exhaust gases rises by an average of 36% compared to gasoline A-95 operation, whereas NO_x emissions are reduced by about 11.6%.

Keywords: fuel economy, environmental performance, alternative fuels, alcohol–gasoline blend, liquefied petroleum gas.

ШУБА Євгеній Васильович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, e-mail: y.shuba@ntu.edu.ua, тел. +380688147423, <https://orcid.org/0000-0003-2036-8024>

ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, e-mail: dobrovolskiy@ukr.net, тел. +380632977210, <https://orcid.org/0000-0003-0048-1388>

МАРИНИЧ Олександр Олегович, аспірант кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, e-mail: olecalibra25@gmail.com, тел. +38066-435-86-88, <https://orcid.org/0009-0009-2544-6408>

Yevhenii SHUBA, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Engines and Thermal Engineering, National Transport University, y.shuba@ntu.edu.ua, tel. +380688147423, <https://orcid.org/0000-0003-2036-8024>

Oleksandr DOBROVOLSKYI, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department of Engines and Thermal Engineering, National Transport University, e-mail: dobrovolskiy@ukr.net, tel. +380632977210, <https://orcid.org/0000-0003-0048-1388>

Oleksandr MARYNYCH, Postgraduate Student of the Department of Engines and Thermal Engineering, National Transport University, e-mail: olecalibra25@gmail.com, tel. +38066-435-86-88, <https://orcid.org/0009-0009-2544-6408>

Дата надходження статті до видання: 04.09.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.09.2025

DOI 10.36910/automash.v2i25.1939