УДК 621.436.12

DOI: 10.33868/0365-8392-2022-1-273-35-43

© С. В. Ковбасенко, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри інженерії машин транспортного будівництва,
ORCID: 0000-0002-7309-8200,
e-mail: s-kov@ukr.net
Національний транспортний університет
© О. В. Бугрик, канд. техн. наук, науковий співробітник, відділ технічного забезпечення виконання міжнародних договорів у сфері транспорту, ORCID: 0000-0003-4581-3294,
e-mail: bugrikalex@gmail.com
ДП «ДержавтотрансНДІпроект»

© Serhii Kovbasenko, Ph.D., Associate Professor, Professor of the engineering of transport construction machines,
ORCID: 0000-0002-7309-8200,
e-mail: s-kov@ukr.net
National Transport University
© Oleksii Bugryk, Ph.D., Researcher, Department of technical support for the implementation of international agreements in the field of transport,
ORCID: 0000-0003-4581-3294,
e-mail: bugrikalex@gmail.com
SE "State Road Transport Research Institute

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ З ДИЗЕЛЕМ ЗА РОБОТИ НА ДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛИВІ ТА ДИЗЕЛЬНОМУ БІОПАЛИВІ

EXPERIMENTAL TESTS OF A DIESEL CAR OPERATING ON DIESEL FUEL AND DIESEL BIOFUEL

Анотація. *Наведено результати стендових випробувань легкового автомобіля з дизелем при роботі на дизельному паливі та дизельному біопаливі, а саме: викиди шкідливих речовин та витрати палив за циклами, порівняльні навантажувальні характеристики дизеля у складі легкового автомобіля. Підтверджено можливість застосування дизельного біопалива з утилізованих відходів продовольчих жирів у дизелях сучасних автомобілів. Проведені дослідження засвідчили зменшення сумарних масових викидів, приведених до викидів оксиду вуглецю, за роботи на дизельному біопаливі.*

Ключові слова: *дизель, дизельне біопаливо, легковий автомобіль, експериментальні випробування, витрата палива, шкідливі викиди.*

Abstract. *Realizing the problems that constantly accompany the use of road transport, against the background of the increasing shortage of liquid fuels of petroleum origin in Ukraine and other countries, serious attention has long been paid to the use of alternative, more environmentally friendly types of motor fuels, which include biofuels, natural gas and hydrogen. At the same time, the issue of reducing environmental pollution by road transport is an important component of the general environmental problem, the severity of which increases every year. With the significant growth of food industry facilities, there is a need to dispose of food products, namely food fats, which create a negative impact on the environment. Therefore, a possible way to solve the problem of disposal of edible fats can be their processing into diesel biofuel. The use of biodiesel fuel from recycled food fat waste does not require significant changes in the engine design, at the same time, it will allow to expand the fuel base of diesel vehicles and reduce their harmful impact on the environment. The article presents the results of bench tests of a passenger car with a diesel engine when operating on diesel fuel and diesel biofuel, namely: emissions of harmful substances and fuel consumption by cycle, comparative load characteristics of a diesel engine in a passenger car. The possibility of using diesel biofuel from recycled food fat waste in diesel engines of modern cars has been confirmed. The conducted studies proved the reduction of the total mass emissions, reduced to carbon monoxide emissions, for work on diesel biofuel.*

Keywords*: diesel, diesel biofuel, passenger car, experimental tests, fuel consumption, harmful emissions.*

Вступ

Екологічні проблеми, пов’язані з використанням традиційного моторного палива у двигунах автотранспортних засобів, актуальні не лише для України, а й для переважної більшості країн світу [1]. В багатьох країнах діють жорсткі вимоги щодо екологізації автотранспортних засобів [2].

Крім того, дизелі автотранспортних засобів є одними з основних спожи-

вачів рідкого вуглеводного палива, запаси якого вичерпуються.

У зв'язку з цим, значно активізувалися науково-дослідні роботи у сфері використання енергетичних ресурсів на автомобільному транспорті, а також розробляються нові програми щодо розширення використання альтернативних видів палив.

Можливим способом розширення сировинної бази дизельного біопалива варто розглядати раціональну утилізацію (повторне використання) відходів виробництв, побутових відходів тощо [3]. Адже за сучасних умов значного зростання об'єктів харчової промисловості виникає потреба в утилізації продуктів харчування, а саме продовольчих жирів, які створюють негативний вплив на навколишнє середовище [4]. Сировиною для виробництва метилових і етилових ефірів жирних кислот можуть бути рослинні олії, тваринний і пташиний жир, сало, жовтий жир і побічні продукти риболовецької галузі [5]. Застосування дизельного біопалива з утилізованих відходів продовольчих жирів не вимагає значних змін в конструкції двигуна, але, водночас, дасть змогу розширити паливну базу дизелів транспортних засобів та знизити їх шкідливий вплив на навколишнє середовище [6].

Метою роботи є проведення експериментальних стендових випробувань легкового автомобіля з дизелем за режимами Європейського їздового циклу для визначення його паливної економічності, енергетичних та екологічних показників за роботи дизеля на дизельному паливі (ДП) та дизельному сумішевому біопаливі з утилізованих відходів продовольчих жирів, яке складається з 80 % дизельного палива та 20 % метилових ефірів жирних кислот (МЕЖК).

Для досягнення мети експериментальних досліджень ставились та були вирішені такі завдання:

1. Визначення енергетичних та екологічних показників автомобіля Volkswagen Passat B4 (далі – VW Passat B4), його паливної економічності за роботи в різних навантажувальних режимах і режимі активного холостого ходу під час роботи на ДП та дизельному біопаливі.

2. Отримання вихідних даних для розрахунку на математичній моделі руху автомобіля за роботи дизеля на дизельному паливі та дизельному біопаливі за режимів міського їздового циклу.

3. Проведення стендових випробувань легкового автомобіля з дизелем за режимів Європейського їздового циклу згідно з правилами R83 (далі – R83) за роботи дизеля на ДП та дизельному біопаливі.

Основна частина

Вміст біопалива у сумішевому паливі та його температура у ПНВТ під час проведення досліджень визначали попередньо експериментальним і розрахунковим методами [7,8].

Більші значення температури палива у ПНВТ дизеля призводять до зменшення циклової подачі палива, а також до утворення парових пробок, які погіршують прокачуваність палива у паливній системі автомобіля [9]. Результати моторних випробувань двигуна VAG ASV 1.9 Tdi за умови живлення сумішевими дизельними біопаливами показали, що звичайне змішування двох палив не забезпечує необхідних фізико-хімічних властивостей та знижує паливну економічність двигуна. Тому була розроблена система живлення дизеля з додатковим підігрівачем палива рідинного типу для забезпечення необхідних в'язкісно-температурних показників дизельних біопалив з утилізованих відходів продовольчих жирів. Для цього було проведено аналіз існуючих підігрівачів палива різних видів, які класифікують за способом джерела теплоти, за способом надходження теплоти та за потужністю теплоносія. Джерелом теплової енергії для підігрівача обрано рідину системи охолодження, як найбільш стабільну теплову систему в двигуні. На систему живлення отримано патент на винахід № 114871 Україна F02M 31/02, F02D 19/06

«Система живлення багатопаливного двигуна» (**рис. 1**) [10].

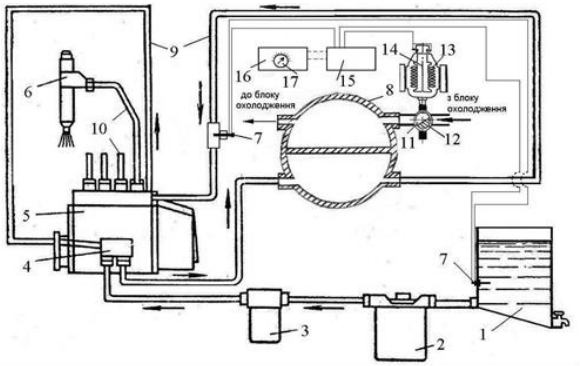


Рис. 1. *Система живлення багатопаливного двигуна*

Система живлення складається з паливного бака 1, фільтра грубої очистки палива 2, фільтра тонкої очистки палива 3, паливопідкачувального насосу низького тиску 4, паливного насосу високого тиску 5, форсунок 6, датчика температури палива 7, підігрівача палива (теплообмінника) 8, паливопроводів низького 9 та високого 10 тиску, регульованого крана 11, який подає охолоджену рідину в підігрівач 8, та золотника 12, який регулює кількість підігрітої охолодженої рідини, крокового двигуна 13, вала 14, який жорстко закріплений до золотника 12. Кроковий двигун 13 електрично зв'язаний через підсилювач напруги 15 з електронним блоком 16 регулятора напруги перемикача 17 режимів роботи (залежно від виду використовуваного палива). Роботоздатність системи живлення багатопаливного двигуна перевірено та підтверджено експлуатаційними випробуваннями трактора ЮМЗ-6 з дизелем РМ-80 в різних навантажувальних та швидкісних режимах. Розроблену систему живлення було встановлено на автомобіль VW Passat B4 (**рис. 2**)

Перед проведенням стендових випробувань автомобіля VW Passat B4 перевірено відповідність технічного стану, відрегульовано системи двигуна та автомобіля до нормативних значень, які регламентовано ДСТУ 3649:2010 [11], а також технічними рекомендаціями завода-виробника. Тиск в шинах автомобіля доведено до норми.

Стендові випробування автомобіля VW Passat B4, на який встановлено розроблену систему живлення, проводили в лабораторії дослідження використання палив та екології ДП "ДержавтотрансНДІпроект" на моделюючому роликовому стенді AVL типу RPL1220/12C23M17/APM150 за Правилами ЄЕК ООН № 83.

Концентрації шкідливих речовин у ВГ визначали за стандартизованою методикою відбору проб із системи розбавлення ВГ постійного об'єму «Constant Volume Sampling (CVS) method» моделі "EMMS-CVS-010" (**рис. 3**). Визначення вмісту забруднюючих речовин у розбавлених газах виконували газоаналітичним комплексом MEXA-7400DEGR виробництва фірми Horiba Ltd (Японія) (**рис. 3**).

Для вимірювання витрати повітря використовували масовий витратомір повітря GF-90-A1A00ADAA00060DA5A4, з діапазоном вимірювань 8..1200 м^3/год.

Витрата дизельного палива та дизельного біопалива здійснювалась коріолісовим масовим витратоміром FCI FlexCOR (**рис. 3**), виробництва США.

Під час випробування автомобіля на стенді з біговими барабанами визначали швидкість руху автомобіля, пройдений шлях, час проходження шляху і витрату палива за цикл, витрату повітря, масові

Рис. 2. *Система живлення багатопаливного двигуна встановлена на автомобіль VW Passat B4*

Рис. 3. *Об'єкт експериментальних випробувань -легковий автомобіль Volkswagen Passat B4, встановлений на моделюючий роликовий стенд AVL-Zollner muny RPL1220/12C23M17/APM150, коріолісовий масовий витратомір FCI FlexCOR, газоаналітичний комплексом MEXA-7400DEGR, система відбору проб моделі "EMMS-CVS-010"*

викиди шкідливих речовин.

Під час експерименту визначались навантажувальні характеристики та характеристика холостого ходу двигуна автомобіля за роботи на дизельному паливі та дизельному біопаливі. Навантажувальні характеристики визначались за частот обертання 1600, 1800, 2000, 2200 та 2400 хв$^{-1}$. При цьому визначались: зусилля на колесі, частота обертання колінчастого вала двигуна, швидкість автомобіля, витрати дизельного палива, повітря, температура повітря, температура палива, тверді частинки та димність відпрацьованих газів. Концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах визначались згідно з робочою методикою досліджень, димність визначалась згідно з ДСТУ 4276:2004 [12].

Залежності паливної економічності (годинна витрата дизельного та сумішевого палив) та концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах (CO, CmHn, NO_x) визначались при усталених частотах обертання двигуна (усталених умовних швидкостях руху автомобіля) від зусилля на ведучих колесах автомобіля.

Вимірювання проводились в такій послідовності: без включення навантаження від стенда встановлювалась частота обертання колінчастого вала двигуна, за якої визначались названі вище залежності. Потім поступовим збільшенням навантаження стенда і відповідним натисканням педалі управління подачею палива підтримувалась стала частота обертання і визначались залежності показників роботи двигуна від потужності на ведучих колесах автомобіля.

Основні результати

На **рис. 4** показано, що навантажувальні характеристики паливно-економічних показників автомобіля з дизелем, що працює на ДП та дизельному біопаливі, за частоти обертання $n_д$=2000 хв$^{-1}$.

На характеристиках показані отримані такі показники: годинні ви-

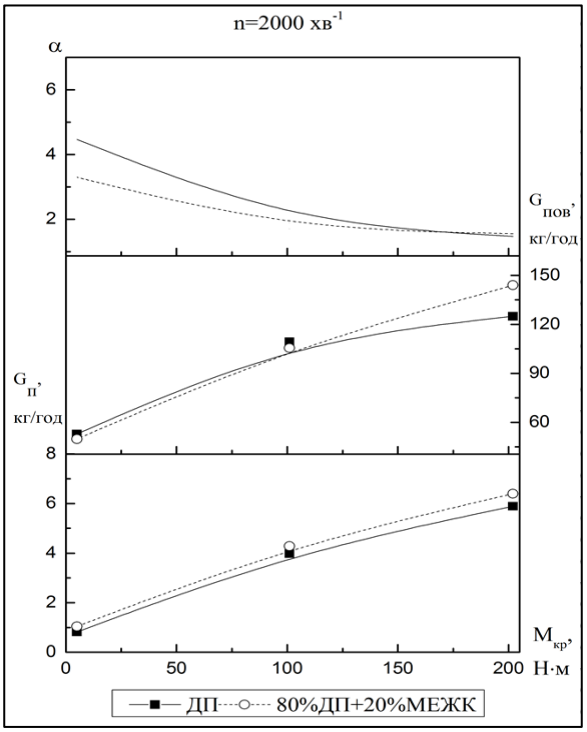
трати ДП або дизельного біопалива, повітря ($G_{пал}$, $G_{пов}$), концентрації у ВГ оксиду вуглецю CO, двоокису вуглецю CO_2, вуглеводнів C_mH_n, оксидів азоту NO_x та димності відпрацьованих газів.

Як видно з **рис. 3** за роботи дизеля на дизельному біопаливі спостерігається збільшення витрати палива. Це пов'язано з меншою теплотою згоряння дизельного біопалива порівняно з ДП. Витрата повітря та коефіцієнт надміру повітря практично однакові, як на ДП, так і на дизельному біопаливі.

За **рис. 4**, концентрації оксиду вуглецю CO на роботі на дизельному біопаливі менші у всьому діапазоні навантаження порівняно з ДП. Також спостерігається незначне зменшення концентрацій оксидів азоту NO_x до 5 %. Димність ВГ за роботи дизеля на дизельному біопаливі менша, ніж за роботи на ДП, за умови, що навантаження більше 50 %. Однак, до 50% навантаження спостерігається збільшення димності ВГ за роботи на дизельному біопаливі. Також необхідно зазначити збільшення концентрацій вуглеводнів CmHn та двоокису вуглецю CO_2 за роботи дизеля на дизельному біопаливі. Збільшення концентрації вуглеводнів C_mH_n можна пояснити збільшенням витрати палива. Також незначне зменшення оксидів азоту NO_x може бути спричинене зниженням температури в камері згорання в результаті збільшення витрати дизельного біопалива.

Окрім навантажувальних характеристик були отримані характеристики холостого ходу дизеля. На **рис. 5** наведена характеристика холостого ходу дизеля легкового автомобіля VW Passat B4.

Як видно з **рис. 5**, концентрації ШР, димність ВГ, годинні витрати палива та повітря збільшуються зі збільшенням частоти обертання КВ, як на ДП, так і на дизельному біопаливі. За роботи дизеля на дизельному біопаливі спостерігається збільшення годинної витрати палива та повітря. За частоти обертання КВ $n_д$=2400 хв$^{-1}$ різниця між витратою на ДП та дизельному біопаливі найбільша. Година витрата палива за роботи дизеля на дизельному біопаливі підвищується від 5 % до 30 % за частоти обертання КВ від $n_д$ =1400 хв$^{-1}$ до $n_д$ =2400



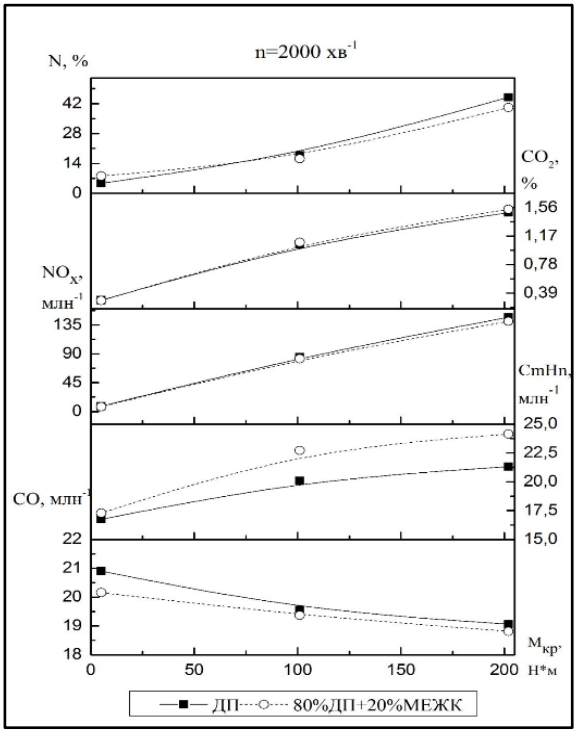


Рис. 4. *Паливно-економічні та екологічні показники автомобіля з дизелем, що працює на ДП та дизельному біопаливі*

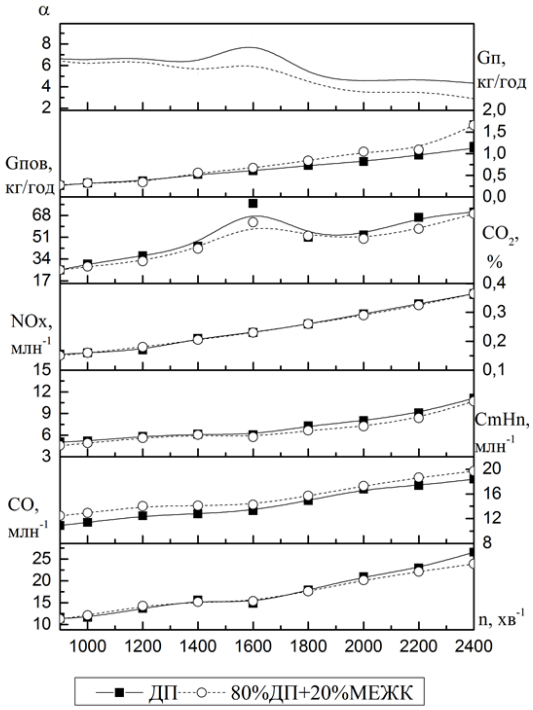


Рис. 5. *Характеристика холостого ходу дизеля легкового автомобіля VW Passat B4*

хв$^{-1}$. Всі інші показники за роботи дизеля, як на ДП, так і на дизельному біопаливі практично однакові.

Отже, в результаті аналізу отриманих характеристик за роботи дизеля на дизельному біопаливі можна стверджувати про можливість поліпшення сумарної токсичності, переважно завдяки зменшенню димності ВГ, порівняно з роботою на ДП. Однак, робота дизеля на дизельному біопаливі супроводжується збільшенням витрати палива в усьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів роботи дизеля.

Виконання їздового циклу на дизельному паливі та дизельному біопаливі наведено на **рис. 6.** З нього видно, що виконання їздового циклу на стенді тягових властивостей, як на ДП, так і дизельному біопаливі практично однакове з незначним відхиленням одне від одного. Також можна стверджувати, що робота на дизельному біопаливі стабільна протягом всього їздового циклу, що підтверджує можливість використання такого палива дизелями.

На **рис. 7** наведена зміна концентрацій двоокису вуглецю CO_2, оксиду вуглецю CO, вуглеводнів C_mH_n та оксидів азоту NO_x під час виконання їздового циклу. На цьому рисунку ми спостерігємо практично однаковий характер зміни концентрацій двоокису вуглецю CO_2, оксиду вуглецю CO та оксидів азоту NO_x, як на ДП, так і дизельному біопаливі, з незначною різницею за значенням. Однак, зміна концентрацій вуглеводнів C_mH_n на роботі на дизельному біопаливі менша протягом виконання всього їздового циклу, ніж на роботі на ДП.

У **табл. 1** та **2** наведено результати випробувань за R83.

Як видно з отриманих результатів виконання Європейського їздового циклу згідно з R83, масові викиди ШР з ВГ за роботи дизеля на дизельному паливі та дизельному біопаливі змінюються в наступній послідовності. Викиди оксиду вуглецю CO при переведені дизеля на дизельне біопаливо зменшуються – на 16,71 %, викиди вуглеводнів C_mH_n збільшуються – на 1,61 %, викиди оксидів азоту NO_x збільшуються – на 3,73 %, викиди твердих частинок зменшуються – на 41,45 %. Загальна витрата палива збільшується – на 1,63 %. Масові викиди, приведенні до викидів оксиду вуглецю, зменшуються на 11 %.

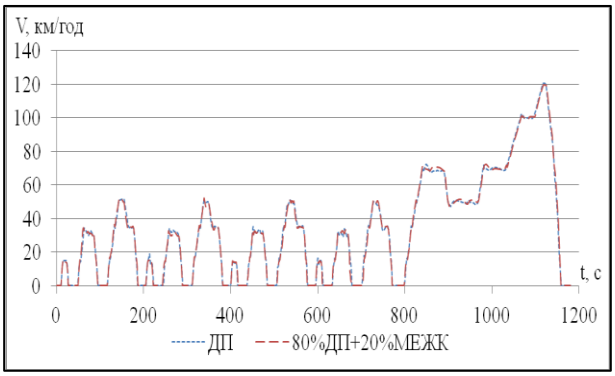


Рис. 5. *Залежність швидкості автомобіля до часу виконання їздового циклу*

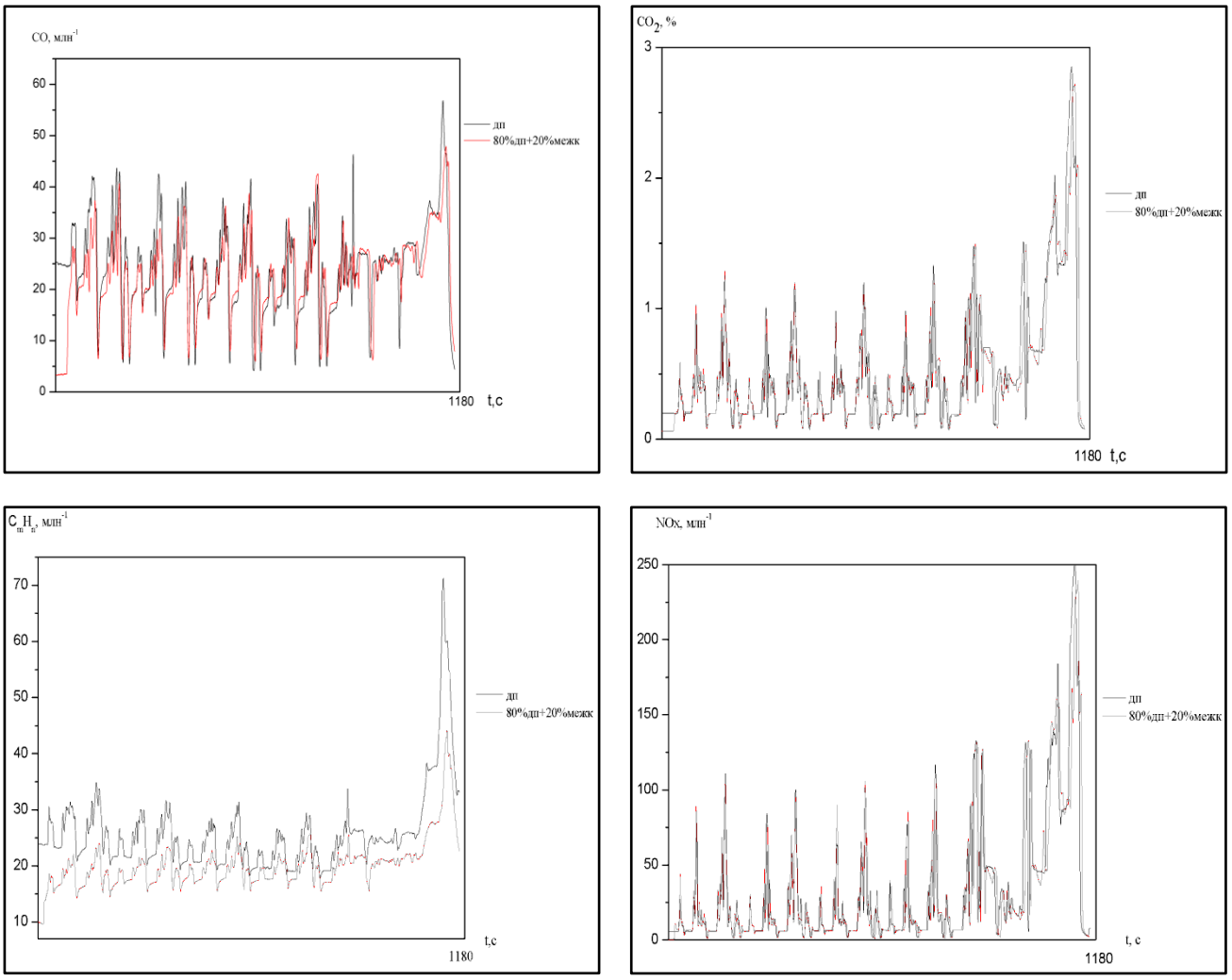


Рис. 6. *Залежності концентрації оксиду вуглецю CO, оксиду вуглецю CO_2, вуглеводнів C_mH_n, оксидів азоту NO_x від часу виконання їздового циклу на стенді тягових властивостей*

Таблиця 1

Викиди шкідливих речовин за циклами

Паливо	Цикли	m_{CO}, мг/вип	m_{CmHn}, мг/вип	m_{CO2}, мг/вип	m_{NOx}, мг/вип	M_{pm}, мг/вип.
Дизельне	1,2 Міський	1988,898	342,582	310,189	1532,606	
	3,4 Міський	1211,326	242,789	304,840	1583,294	
	Заміський	1503,112	273,584	806,19	5921,756	
	Сумарні викиди	4703,336	858,955	1421,22	9037,656	898,528
Дизельне біопаливо	1,2 Міський	1239,737	311,024	299,497	1641,839	
	3,4 Міський	1179,764	269,823	294,153	1689,864	
	Заміський	1497,812	291,926	806,192	6042,831	
	Сумарні викиди	3917,313	872,773	1399,842	9374,534	526,137

Таблиця 2

Витрата палива за циклами

Паливо	Дизельне					Дизельне біопаливо				
Цикли	1,2 Міський	3,4 Міський	Міський	Заміський	Змішаний	1,2 Міський	3,4 Міський	Міський	Заміський	Змішаний
$G_п$, л/100км	5,73	5,64	5,68	4,47	4,92	5,76	5,68	5,72	4,57	5,00

Висновки

1. Для проведення експериментальних досліджень на легковий автомобіль Volkswagen Passat B4 була встановлена розроблена система живлення з підігрівачем рідинного типу для забезпечення фізико-хімічних властивостей палива, зокрема його в'язкісно-температурних показників.

2. Визначено витрату палива та концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах у режимах холостого ходу, а також в широкому діапазоні навантажувальних і швидкісних режимів двигуна за роботи на дизельному і сумішевому дизельному біопаливах.

3. Проведені дослідження показали, що двигун стабільно працює на дизельному біопаливі. При цьому за роботи дизеля на дизельному біопаливі спостерігається зменшення димності відпрацьованих газів на 41,45 %. Сумарні масові викиди, приведені до викидів оксиду вуглецю, за роботи дизеля на дизельному біопаливі зменшуються на 11 % під час виконання їздового циклу, порівняно з роботою на дизельному паливі.

4. З метою вирішення низки енергетичних, економічних та екологічних проблем, пов'язаних з використанням традиційного моторного палива на автомобільному транспорті, та більш широкого використання альтернативних палив в подальших дослідженнях необхідно встановити рівень енергоефективності та екологічності найбільш перспективних альтернативних палив, зокрема, дизельного біопалива з утилізованих відходів продовольчих жирів.

References

1. EU. (2022). Commission proposes new Euro 7 standards to reduce pollutant emissions from vehicles and improve air quality. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6495.

2. Olena Chernyshova, Ihor Petrenko, Pavlo Vyshebaba. (2020). Environmental and transport problems of modern Ukraine. Kyiv. Retrieved from https://icps.com.ua/assets/uploads/images/files/ecology_a4_ukr.pdf

3. Govorun A. G., Merzhievska L. P., Pavlovskyi M. V., Bugryk O. V. (2016). Expansion of the fuel base of engines of wheeled vehicles using biodiesel fuels obtained from recycled agricultural waste. Bulletin of NTU, 34, 96-104.

4. S. V. Kovbasenko, V. V. Simonenko, O. V. Bugryk. (2019). Improving the performance of vehicles using diesel biofuels from plant and animal waste. Roads and road construction, 106, 40-45.

5. Brown T., Lemay G. Yu. (1983). Chemistry – in the center of science: In 2 parts. Trans. with English. Moscow, Mir, 520, Part 2.

6. Yu.G. Sukhenko, M.M. Mushtruk. (2016). Production methods of diesel biofuel. Scientific works SWorld. Retrieved from https://www.sworld.com.ua/konferm3/25.pdf.

7. Kovbasenko S. V., Bugryk O. V., Simonenko V. V. (November 16-17, 2022). Determination of rational parameters for

the use of diesel biofuel from edible fats by motor vehicles: Materials of the inter-?ational conference "Improvement of constructive and operational indicators of cars and machines". A collection of abstracts of reports. Kyiv, NTU, 22, 118-121.

8. Govorun A. G., Bugryk O. V. (2015). Peculiarities of the use of biodiesel fuels in the engines of wheeled vehicles. VII International scientific and practical conference "Modern technologies and prospects for the development of road transport", VNTU, 71-73.

9. Grekhov L. V., Ivashchenko N. A., Markov V. A. (2005). Fuel equipment and diesel control systems, Textbook for universities, 2nd ed. Moscow, Legion-Avtodata, 344.

10. A. G. Govorun, O. V. Bugryk, Z. I. Krasnokutska, M. V. Pavlovsky, V. S. Podpisnov. (2017). Patent for the invention No. 114871 Ukraine F02M 31/02, F02D 19/06 "Power supply system of a multi-fuel engine". (Ukraine); Applicant and patent owner is National Transport University; statement 10.02.2017; published 10.08.2017, Bul. No. 15.

11. SE "DerzhavtotransNDIproekt". (2010). DSTU 3649:2010. "Wheeled Vehicles". National Standard of Ukraine. Retrieved from https://dnaop.com/html/33994/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_3649_2010.

12. SE "DerzhavtotransNDIproekt". (2004). DSTU 4276:2004 System of standards in the field of environmental protection and rational use of resources. Atmosphere. Norms and methods of measuring the smokiness of exhaust gases of cars with diesel or gas-diesel engines. National Standard of Ukraine. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52586