

УДК 629.113

В. В. СЛАВІН, канд. техн. наук, ст. викладач ХНУ, Хмельницький;
І. В. МАНЬКО, канд. техн. наук, наук. співр. НТУ, Київ;
А. В. ГУНЬКО, канд. техн. наук, доцент НАДПСУ, Хмельницький

ВПЛИВ ТИПУ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ НА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЯ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Визначені екологічні показники бензинового двигуна з різними системами живлення в режимах навантаження та в швидкісних режимах активного і примусового холостого ходу. Експериментальними дослідженнями на моделюючому роликівому стенді за програмою Європейського іздогового циклу визначено екологічний рівень забруднення атмосферного повітря автомобілем, обладнаним в умовах експлуатації системами впорскування бензину зі зворотнім зв'язком і нейтралізації відпрацьованих газів.

Ключові слова: відпрацьовані гази, бензиновий двигун, автомобіль, система впорскування, карбюратор, екологічні показники.

Вступ. Нині продовжують виконувати транспортну роботу легкові автомобілі з карбюраторною системою живлення (СЖ), яка з точки зору екологічних показників забезпечує найнижчий рівень «Євро-0».

Визначити загальну кількість автомобілів з карбюраторною системою, які перебувають в експлуатації, можна проаналізувавши дані експертів у роботі [1], які свідчать про те, що станом на кінець 2010 р. парк автомобілів категорії М1 загальною чисельністю 6769,3 тис. од мав таку орієнтовну структуру за екологічними властивостями:

- відповідних «Євро-0» - 4470-4870 тис. од (66-72%);
- відповідних «Євро-1» - 60-130 тис. од (1-2%).

Як видно з цих даних, автомобілі екологічного рівня «Євро-0» експлуатуються з карбюраторними системами, до класу «Євро-1» відносяться ті самі зразки, які обладнані окислювальним нейтралізатором. Через вплив багатьох факторів експлуатація автомобілів з цією системою буде продовжуватися, про що свідчить ріст внутрішніх продажів автомобілів з пробігом [2].

До того ж, автомобілі з такими СЖ нині визначені як основне джерело викидів в атмосферне повітря з відпрацьованими газами (ВГ) забруднюючих речовин (ЗР) та споживачем світлих нафтопродуктів. Згідно останніх статистичних даних викиди ЗР і діоксиду вуглецю (СО₂) пересувними транспортними засобами мають таку динаміку: викиди СО₂ в 2013 р. зросли на 11,5% (4332,6 тис. т) в порівнянні з аналогічним показником в 2012 р. (3886,5 тис. т), а викиди ЗР зросли тільки на 1,3% (166,5 тис.т) [3].

У зв'язку з прийняттям Закону України «Про деякі питання ввезення на митну територію України та реєстрації транспортних засобів» Україна зобов'язалася виконувати європейські норми токсичності ВГ розпочинаючи з рівня «Євро-2», внаслідок чого перша реєстрація та ввезення транспортних засобів на територію нашої країни відбувається за умови відповідності їх екологічним нормам не нижче рівня «Євро-2» як обов'язкових.

Відповідно цьому існує практика заводів-виробників автомобілів, які встановлюють на бензинові двигуни, які раніше працювали з карбюраторною системою, систему впорскування бензину та пристрій нейтралізації ВГ.

Таким чином, для поліпшення екологічних показників автомобілів з карбюраторними двигунами, які знаходяться в експлуатації, до сучасного рівня

пропонується замінити застарілу СЖ на сучасну електронну систему впорскування бензину з системою нейтралізації ВГ рівня «Євро-2».

Аналіз основних досліджень і літератури.

Проведені раніше експериментальні і розрахункові дослідження показали, що заміна карбюраторної СЖ на систему впорскування типу LE-Jetronic, налаштовану на роботу за збідненого складу суміші (α зросло від 1,0 до 1,2), сприяє покращенню паливної економічності, екологічних та енергетичних показників автомобіля ВАЗ-2106 [4]. Проте така система не забезпечує зворотнього зв'язку по складу ВГ, так як це є основною вимогою для забезпечення ефективної роботи трикомпонентного каталітичного нейтралізатора (ТКН), щоб забезпечити екологічні норми не нижче рівня «Євро-2». На відміну від карбюраторної версії, встановлення заводом-виробником на нові, серійні автомобілі ВАЗ-2107,09 системи впорскування бензину забезпечує покращення екологічних показників, причому зростає потужність двигуна та зменшується витрата палива [5-6].

Мета дослідження. Так як досвід використання систем впорскування бензину на легкових автомобілях, двигуни яких раніше працювали з карбюраторною системою, засвідчив покращення показників автомобіля, доцільним є дослідження впливу сучасної системи впорскування бензину зі зворотнім зв'язком та системою нейтралізації ВГ на екологічні показники автомобіля в умовах експлуатації.

Матеріали досліджень. Згідно з цим для проведення досліджень впливу типу СЖ на показники двигуна і автомобіля обрано електронну систему впорскування типу LH-Motronic, яка відповідає екологічним нормам рівня «Євро-2». LH-Motronic включає в себе (рис. 1): електронну (статичну) систему запалювання, мікрокомп'ютерне керування кутом випередження запалювання, електронну систему гасіння детонації (knock sensor), систему нейтралізації ВГ та зворотній зв'язок, систему уловлювання випарів бензину (EVAP - Evaporative Emission Control System).

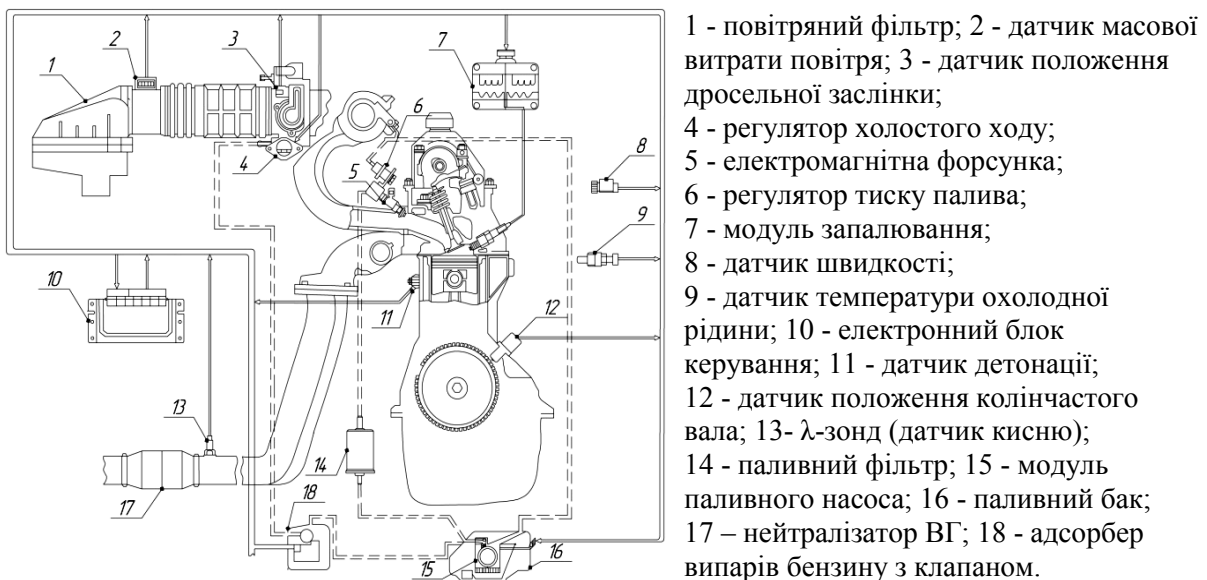


Рисунок 1 – Система розподіленого впорскування бензину типу LH-Motronic

У випускній системі двигуна встановлюється ТКН моделі 2110-1206010-13 типу 2110-2112, «Атекс». Для проведення експериментальних досліджень впливу типу СЖ

на показники роботи двигуна та автомобіля в умовах експлуатації прийнято розповсюджений представник легкових автомобілів з карбюраторним двигуном 4Ч7,6/6,6, марки ВАЗ-21051 [7].

Згідно програми експериментальних досліджень в лабораторії випробування двигунів кафедри «Двигуни і теплотехніка» НТУ проводилися стендові дослідження бензинового двигуна 4Ч7,6/6,6 та отримано серію навантажувальних характеристик, швидкісних характеристик активного і примусового холостого ходу (ПХХ) двигуна з різними СЖ.

Один з найбільш поширених режимів роботи автомобільних двигунів в умовах експлуатації, зокрема в місті, є режим активного холостого ходу (ХХ). Згідно з цим визначалися порівняльні характеристики двигуна з карбюраторною системою і системою впорскування в швидкісних режимах активного ХХ (рис. 2 а).

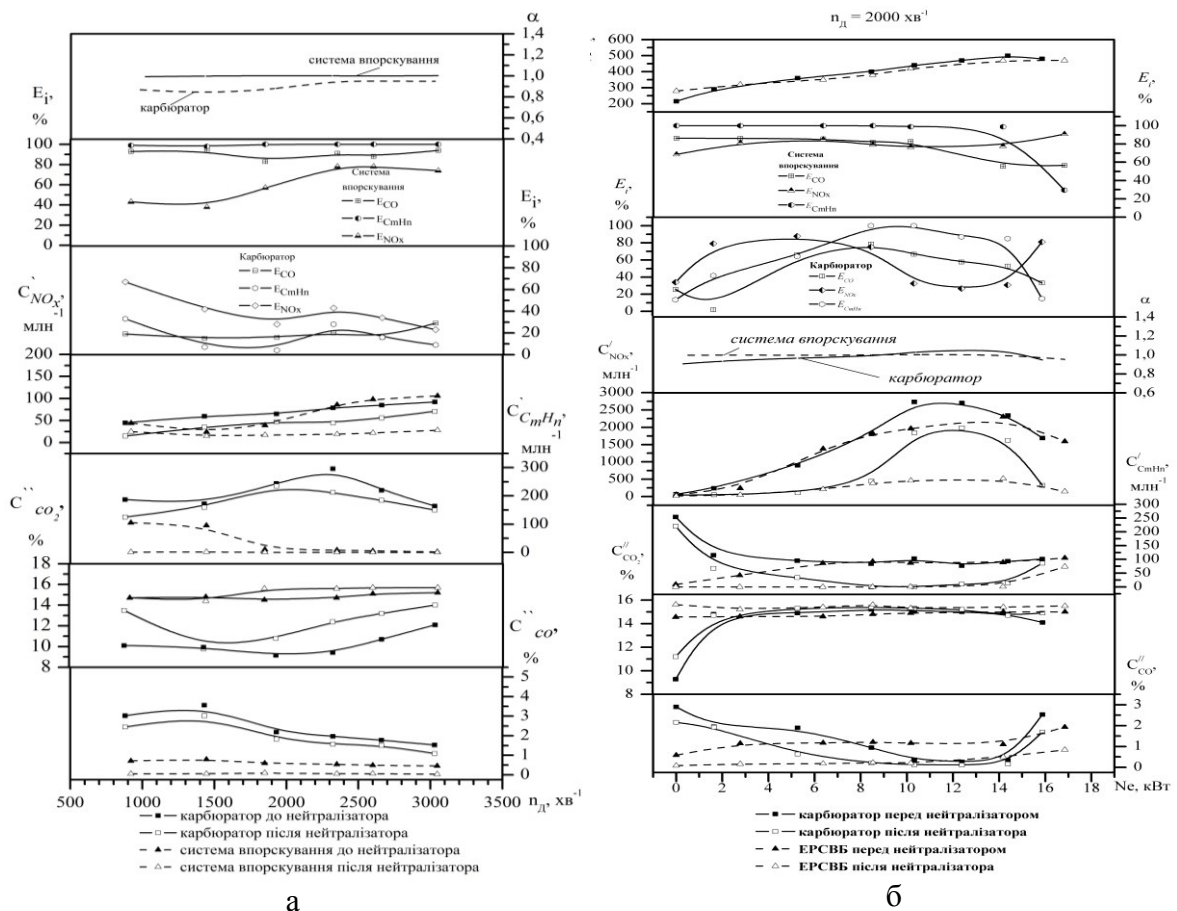


Рисунок 2 – Залежність екологічних показників двигуна 4Ч7,6/6,6 в режимах: а – активного ХХ; б – від навантаження з різним типом СЖ

Встановлення системи впорскування забезпечує стехіометричний склад суміші ($\alpha \approx 1$) в усіх заданих режимах активного ХХ. Склад суміші при роботі двигуна з штатним карбюратором, буде залежати від характеристик дозуючого пристрою систем, які безпосередньо визначаються швидкісним режимом двигуна. У режимі мінімальної частоти обертання двигуна паливовітряна суміш (ППС) має збагачений склад ($\alpha = 0,91$). При збільшенні частоти обертання, коли спрацьовує перехідна та головна дозуюча системи, коефіцієнт надлишку повітря змінюється в межах $\alpha = 0,83 \dots 0,95$.

Робота двигуна з карбюраторною СЖ на збагаченій ППС характеризується підвищеними концентраціями CO , C_{mH_n} у ВГ при відборі проб до ТКН в порівнянні з

цими показниками при застосуванні системи впорскування. Концентрації NO_x в режимах ХХ незначні і різниця для різних СЖ близька до точності заміру цієї речовини. У режимах ХХ визначено ефективність нейтралізації ЗР ТKN за роботи двигуна з карбюраторною СЖ і після заміни її системою впорскування бензину (рис. 2 а). Оцінку ефективності роботи нейтралізатора здійснювали за коефіцієнтом ефективності (ступенем перетворення або нейтралізації E_i). У кожній точці характеристик забір газу у випускній системі двигуна для вимірювання концентрацій ЗР здійснювався перед і після ТKN для обох СЖ.

Як видно з рис. 2 а, система впорскування забезпечує ефективну нейтралізацію CO , C_mH_n у межах 88...100% в усьому швидкісному режимі. Ефективність нейтралізації NO_x при частотах обертання 2350...3050 xv^{-1} знаходиться в межах 73...78%, і лише при низьких частотах ефективність нейтралізації NO_x знижується до 43,2 %, що пояснюється зниженням температури ВГ (t_{eg}), які надходять в ТKN. Ефективність нейтралізації ЗР при карбюраторній СЖ по всім складовим значно нижча за винятком нейтралізації NO_x за низьких частот обертання, що можна пояснити більш високими температурами ВГ (t_{eg}) перед нейтралізатором.

Так як в умовах експлуатації основними змінними параметрами є частота обертання та навантаження двигуна і разом з тим може змінюватись склад суміші та температура ВГ екологічні показники та ефективність роботи ТKN оцінювали в навантажувальних режимах двигуна. Для прикладу на рис. 2 б показана навантажувальна характеристика ($n_d = 2000 xv^{-1}$) двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними СЖ.

Як видно з рис. 2 б, в режимах малих навантажень і ХХ мають місце підвищені концентрації продуктів неповного згоряння (CO , C_mH_n) в порівнянні з системою впорскування. В діапазоні середніх навантажень і близьких до повного при карбюраторній СЖ концентрації NO_x також вищі, що пояснюється збідненням ППС. Температура ВГ (t_{eg}) вища в тих навантаженнях, де ППС більш бідна з тією чи іншою системою. В області найбільш ефективного згоряння ($\alpha = 1,03...1,05$), де концентрації CO і C_mH_n мінімальні, концентрація NO_x найбільша, що пояснюється високими температурами процесу згоряння і достатньою кількістю кисню для протікання термічних реакцій утворення NO_x . У зоні збагачення суміші ($\alpha=0,95-0,94$) концентрації NO_x трохи нижчі, хоча температура згоряння максимальна. Це є наслідком недостатньої кількості кисню. В режимах ХХ NO_x практично відсутні. Отже, різна зміна складу суміші з тією чи іншою системою відобразиться на концентраціях і-ої ЗР на виході з ТKN. Як видно з рис. 2 б, в режимах ХХ ефективність нейтралізації CO і C_mH_n , знаходиться в межах 86...100 % для системи впорскування, а з карбюраторною СЖ 13...25% відповідно.

В навантажувальних режимах до збагачення ППС, нейтралізація CO і C_mH_n при використанні системи впорскування становить 79...100%, з карбюраторною СЖ відповідно 45...78%. При повному навантаженні відбувається збагачення ППС ($\alpha=0,95-0,94$), нейтралізація ЗР для обох систем знижується. Ефективність нейтралізації NO_x в усьому діапазоні навантажувальної характеристики підвищується від 69% до 91% з системою впорскування, що пояснюється зростанням температури ВГ (t_{eg}). До того ж робота двигуна з карбюраторною СЖ забезпечує меншу ефективність нейтралізації NO_x (34...81%), що пояснюється відхиленням складу суміші від стехіометричного [8].

В режимі ПХХ тривалість експлуатації автомобілів складає 35%, крім того, двигун в режимі ПХХ не виконує транспортної роботи, споживаючи в середньому 9...12% палива [9]. Вплив типу СЖ на екологічні показники двигуна в режимі ПХХ показано на рис. 3.

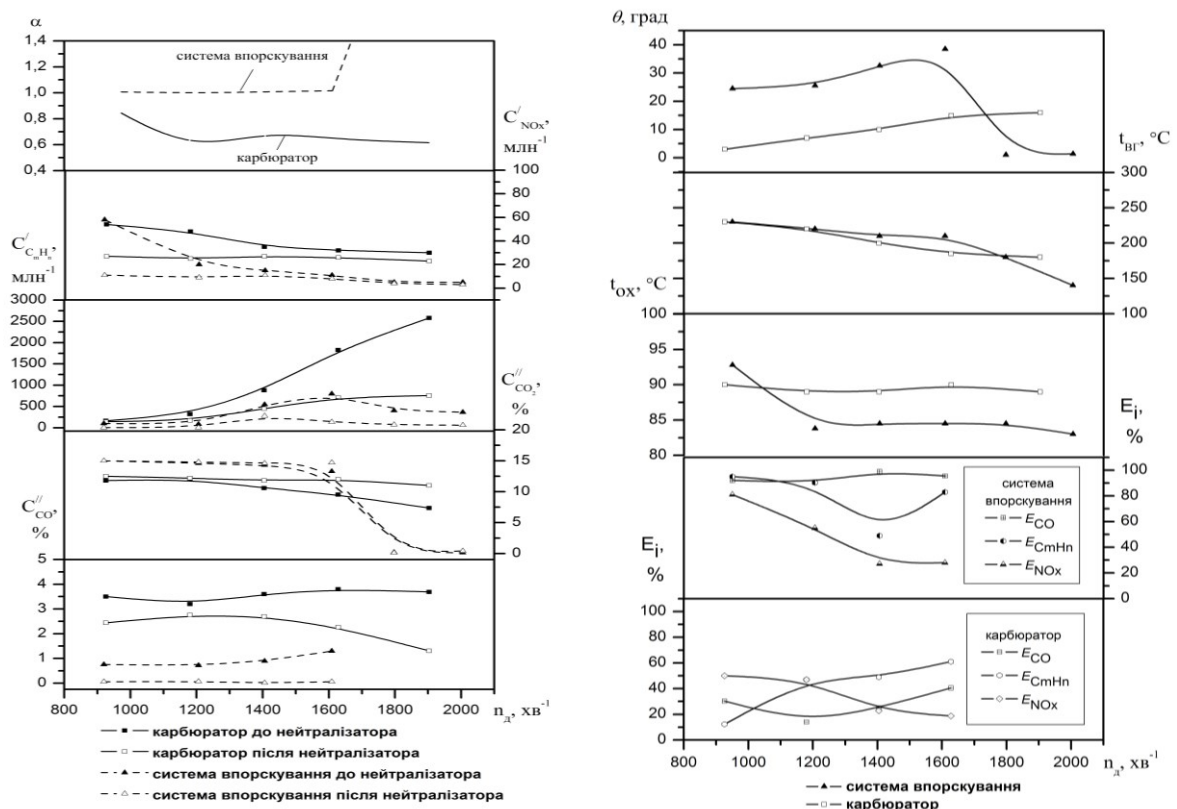


Рисунок 3 – Характеристики ПХХ двигуна 4Ч7,6/6,6 з різним типом СЖ: екологічні показники

У дослідженнях використовувався штатний карбюратор, у конструкції якого відсутні системи, які припиняють паливopодачу або керують процесом сумішоутворення в режимах ПХХ, що необхідно для отримання ідентичних даних при порівнянні з даною системою впорскування, яка використовується для заміни карбюраторної системи. Тому з отриманих характеристик ПХХ можна визначити вплив карбюраторної СЖ на викиди ЗР, при відмовах або відсутності таких систем і пристроїв, що найчастіше зустрічається в умовах експлуатації автомобілів з такими системами. Як і очікувалося, концентрації ЗР найменші при роботі двигуна із системою впорскування. Це також підтверджується зростанням концентрацій CO_2 , через доокислення CO і C_mH_n в ТКН. В режимі гальмування двигуном система впорскування, зокрема при нульовій паливopодачі, зменшує кут випередження запалювання θ для зменшення C_mH_n у ВГ. В режимі нульової паливopодачі за роботи двигуна з системою впорскування CO у ВГ відсутні, поступово знижуються викиди NO_x , а джерелом C_mH_n в цьому режимі може бути моторна олива або випари бензину з паливної плівки у впускному колекторі, яка утворилася від попередніх робочих циклів двигуна. В режимі ПХХ, а саме в діапазоні частот обертання двигуна $n_d = 926 \dots 1600 \text{ хв}^{-1}$ з карбюратором із збагаченим складом суміші $\alpha = 0,91 \dots 0,61$, підвищуються концентрації продуктів неповного згоряння палива CO (в 3,8 рази) і C_mH_n (в 2,2 рази) перед ТКН в порівнянні з показниками системи впорскування. Концентрації NO_x в режимі ПХХ незначні і різниця для досліджуваних СЖ близька до точності заміру цієї речовини.

З характеристики ПХХ (рис. 3) видно, що використання системи впорскування підвищує ефективність роботи ТКН в цих режимах. В діапазоні частот обертання

$n_d=926...1600 \text{ хв}^{-1}$ ефективність нейтралізації CO і C_mH_n з системою впорскування в середньому складає 94,2...80%, а з карбюраторною СЖ відповідно 28...42,3%.

Нейтралізація NO_x при зниженні частоти обертання колінчастого вала двигуна з системою впорскування підвищується в межах 27...81%, через зростання температури ВГ. При тих же умовах нейтралізація NO_x менша (19...50 %) за роботи двигуна з карбюраторною СЖ, що пояснюється значним збагаченням складу суміші [10]. Показники нейтралізації для обох СЖ визначені до частоти обертання $n_d=1600 \text{ хв}^{-1}$ через те, що за цієї частоти система впорскування призупиняє подачу палива в двигун на відмінно від карбюратора, в якому це не відбувається. Тому для ідентичності досліджень показників нейтралізації основних ЗР проведенні порівняння обох СЖ до швидкісного діапазону при якому відсутня подача палива.

Для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря автомобілем в умовах наближених до реальних та визначення відповідності екологічним нормам проведені його стендові дослідження з цим же двигуном, обладнаним системою впорскування зі зворотнім зв'язком та системою нейтралізації ВГ. Експериментальні дослідження проводилися на моделюючому роликовому стенді AVL в ДП «ДержавтотрансНДІпроект» за програмою Європейського їздового циклу, згідно Правил ЄЕК ООН №83-01. Питомі масові викиди ЗР (г/км) визначалися повно-поточною системою розбавлення ВГ CVS (Constant volume system) та газоаналітичною системою MEHA-7400DEGR, фірми HORIBA (Японія) [8].

Одержані питомі масові викиди ЗР під час дослідження наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати досліджень екологічних показників автомобіля з системою впорскування в русі Європейським їздовим циклом (г/км)

Показники роботи автомобіля	Норми Євро-2, г/км	Система впорскування	
G_{CO}	2,2	<u>1,08</u>	
$G_{C_mH_n}$	$\Sigma_{C_mH_n+NO_x} = 0,5$	0,21	<u>0,38</u>
G_{NO_x}		0,17	
G_{CO_2}	-	211,52	
$G_{\Sigma CO}$	-	8,93	

З таблиці видно, що питомі масові викиди ЗР автомобіля, обладнаного сучасною системою впорскування і ТКН, за цикл, не перевищують допустимих нормованих значень i -ої ЗР, які визначають відповідність автомобіля екологічним нормам рівня «Євро-2».

Висновки. Отже, з навантажувальних характеристик ($n_d=2000 \text{ хв}^{-1}$), швидкісних характеристик активного і ПХХ бензинового двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними СЖ видно, що найменші викиди CO , C_mH_n , NO_x утворюються при роботі двигуна з системою впорскування бензину. Ефективність нейтралізації i -ої ЗР буде вища з новою системою живлення, а експериментальні дослідження автомобіля в русі Європейським їздовим циклом продемонстрували виконання екологічних норм рівня «Євро-2».

Список літератури: 1. Уведення екологічних норм Євро-3 – Євро-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками / А. М. Редзюк., В. С. Устименко., О. А. Клименко [та ін.] //Автошляховик України. –2011.–№ 4. – С. 2 – 7. **2.** Первичный рынок автотранспорта с пробегом вырос в 3,5 раза [Електронний ресурс] / Ассоциация автопроизводителей Украины «Укравтопром» // – Режим доступу до статті: <http://ukrautoprom.com.ua/pervichnyj-rynok-avtotransporta-s-probegom-vyugos-v-35-raza>. - Дата звертання 25 грудня 2014. **3.** Україна у цифрах у 2013 році: [під

ред. *О. Г. Осауленка.*, від. за випуск *О. Е. Остапчук*]. – Київ: Державна служба статистики України, 2014. – 240 с. **4.** *Гуцько А. В.* Поліпшення паливної економічності та екологічних показників в умовах експлуатації: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.20 „Експлуатація та ремонт засобів транспорту” / *А. В. Гуцько.* – К., 2006. – 185 с. **5.** *Сачков М.* Раздельное питание / *М. Сачков, А. Чуйкин* // «За Рулем». – 2001. – № 7. – С. 36–38. **6.** *Мишин С.* Евро шесть / *С. Мишин* // «За Рулем». – 2003. – №10.–С.100 – 102. **7.** *Кульбако В. П.* Вибір середньостатистичного автомобіля при проведенні досліджень по визначенню ефективності заходів, направлених на покращення екологічної обстановки в містах // Вісник Національного транспортного університету. - К. НТУ, 2008. Випуск 17. – с. 103-108. **8.** *Ю.Ф. Гутаревич* Поліпшення показників легкових автомобілів з карбюраторними двигунами в умовах експлуатації / *Ю. Ф. Гутаревич, В. В. Славін* // «Вісник СевНТУ». – 2013. – № 142. – С. 36 – 40. **9.** *Ерохов В. И.* Экономичная эксплуатация автомобиля / *В. И. Ерохов* – М.: ДОСААФ, 1986. – 128 с. **10.** *Славін В. В.* Дослідження показників бензинового двигуна з різними системами живлення в режимі примусового холостого ходу / *В.В. Славін* // «Автошляховик України». – 2013. – № 2 (232), С. 6 – 10.

Bibliography (transliterated): **1.** Uvedennya ekolohichnykh norm Yevro-3 – Yevro-6 v Ukrayini, analiz struktury parku avtomobiliv za ekolohichnymy oznakamy / *A. M. Redzyuk., V. S. Ustyomenko., O. A. Klymenko* [ta in.] .Avtoshlyakhovyk Ukrayiny. –2011.–No 4. – P. 2 – 7. **2.** Pervichnyj rynek avtotransporta s probegom vyros v 3,5 raza [Elektronnij resurs] / *Associacija avtoproizvoditelej Ukrainy «Ukravtoprom»* . – Rezhym dostupu do statii: <http://ukrautoprom.com.ua/pervichnyj-rynok-avtotransporta-s-probegom-vyros-v-35-raza>. - Data zvertannya 25 hrudnya 2014. **3.** Ukrayina u tsyfrakh u 2013 rotsi: [pid red. *O. H. Osauleuka.*, vid. za vypusk *O. E. Ostapchuk*]. – Kyiv: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrayiny, 2014. – 240 p. **4.** *Hun'ko A.V.* Polipshennya palyvnoyi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykiv v umovakh ekspluatatsiyi: dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk : spets. 05.22.20 „Ekspluatatsiya ta remont zasobiv transportu” / *A.V. Hun'ko.* – Kiev, 2006. – 185 p. **5.** *Sachkov M.* Razdel'noe pitanie / *M. Sachkov, A. Chujkin* . «Za Rulem». – 2001. – No 7. – P. 36–38. **6.** *Mishin S.* Evro shest' / *S. Mishin* . «Za Rulem». – 2003. –No10.–S.100 – 102 **7.** *Kul'bako V. P.* Vybir seredn'ostatystychnoho avtomobilya pry provedenni doslidzhen' po vyznachennyu efektyvnosti zakhodiv, napravlenykh na pokrashchennya ekolohichnoyi obstanovky v mistakh . Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu. – Kiev. NTU, 2008. Vypusk 17. – p. 103-108. **8.** *Y.F. Hutarevych* Polipshennya pokaznykiv lehkovykh avtomobiliv z karbyuratornymy dvyhunamy v umovakh ekspluatatsiyi / *Y. F. Hutarevych, V.V. Slavin* . «Visnyk SevNTU». – 2013. – No 142. – P. 36 – 40. **9.** *Erohov V. I.* Jekonomichnaja jekspluatacija avtomobilja / *V.I. Erohov* – Moscow: DOSAAF, 1986. – 128 p. **10.** *Slavin V.V.* Doslidzhennya pokaznykiv benzynovoho dvyhuna z riznymy systemamy zhyvlennya v rezhymi prymusovoho kholostoho khodu / *V. V. Slavin* . «Avtoshlyakhovyk Ukrayiny». – 2013. – No 2 (232), P. 6 – 10.

Надійшла (received) 27.02.15