

## ПОЛПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Славін В.В.<sup>1</sup>, Никифорок В.М.<sup>2</sup>, Гоферюк В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Чернівецький факультет  
Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»  
вул. Головна 203-а, 58000, м. Чернівці  
slavinmail@ukr.net;

<sup>2</sup>Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
вул. Коцюбинського 2, 58012, м. Чернівці  
nijj1995@gmail.com, volodya.nikiforuk@gmail.com

У роботі проведено дорожні, стендові, розрахункові порівняльні дослідження паливо-економічних, екологічних, енергетичних показників роботи та тягово-швидкісних властивостей серійного легкового автомобіля зі штатною карбюраторною системою живлення та обладнаного електронною системою впорскування бензину зі зворотнім зв'язком і трикомпонентним каталітичним нейтралізатором в умовах експлуатації. *Ключові слова:* автомобіль, бензиновий двигун, карбюратор, система впорскування, паливна економічність, екологічні показники, математична модель, екологічні норми.

**Улучшения показателей работы легковых автомобилей в условиях эксплуатации. Славин В.В., Никифорок В.М., Гоферюк В.В.** В работе проведены дорожные, стендовые, расчетные сравнительные исследования топливно-экономических, экологических, энергетических показателей работы и тягово-скоростных свойств серийного легкового автомобиля со штатной карбюраторной системой питания и оборудованного электронной системой впрыска бензина с обратной связью и трехкомпонентным каталитическим нейтралізатором в условиях эксплуатации. *Ключевые слова:* автомобиль, бензиновый двигатель, карбюратор, система впрыска, топливная экономичность, экологические показатели.

**The improve a value of automobile under service conditions. Slavin V., Nikiforuk V., Goferyuk V.** The work carried out road, bench, calculated comparative studies of fuel-economic, environmental, energy performance and traction-speed properties of a mass-produced automobile with a standard carburetor power system and equipped with an electronic fuel injection system with feedback and a three-way catalytic converter. *Key words:* automobile, gasoline engine, carburetor, injection system, fuel efficiency, environmental performance.

**Постановка проблеми.** Нині процес автомобілізації носить глобальний характер як у світі, так і в Україні. Про ріст автомобілізації свідчить кількість автомобілів на 1 000 жителів, яка в Україні перебуває в межах 202 од. Цей показник із-поміж країн ЄС на тисячу жителів є вкрай низьким, більш-менш нормальним вважається рівень автомобілізації від 400 до 500 автомобілів на тисячу жителів [1].

Незважаючи на те, що рівень автомобілізації в Україні значно нижчий, ніж у Європі, забруднення навколишнього середовища транспортними засобами є доволі гострою проблемою. Криза 2008 року спричинила суттєвий спад продажів нових автомобілів в Україні, що призвело до старіння рухомого складу. На початок 2012 року 60% автомобілів, зареєстрованих в Україні, мали термін експлуатації понад 10 років, а 27% автомобілів – понад 15 років. Крім того, за останні десять років парк автомобілів в Україні зазнав значних якісних змін, унаслідок чого малолітражні екологічно привабливіші автомобілі було витіснено з ринку великогабаритними авто, які завдають більше шкідливих впливів на довкілля, насамперед через значні обсяги викидів шкідливих речовин в атмосферу [2].

**Актуальність дослідження.** Зростання автомобільного парку спричинює негативний вплив на навколишнє середовище, забруднюючи його шкідливими викидами відпрацьованих газів автомобілів.

Постановою Верховної Ради України за № 188/98-ВР «Про основні напрямки державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» ще у 1998 році екологічну ситуацію в Україні було визнано кризовою [3].

Виконуючи своє призначення, автотранспорт, як правило, завдає також негативного впливу навколишньому середовищу, викидаючи в атмосферу велику кількість забруднювальних речовин. Як відомо, значна концентрація цих речовин спостерігається у місцях великого скупчення транспорту, що є властивим для великих промислових міст країни [4].

Шкідливі викиди автотранспорту в Україні щороку підвищуються й у багатьох містах вони складають 90–95% від загальної кількості викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря. Серед пересувних джерел викиди оцінюються так: автомобільний транспорт – 86,5%, літаки і залізничний транспорт – по 1,6%, морський – 2,8% [5].

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** У Європі автотранспорт посідає друге місце у збільшенні викидів  $CO_2$ , що призводить до парникового ефекту в навколишньому середовищі. Згідно з планами Європейської комісії, до 2012 року необхідно знизити викиди  $CO_2$  новими автомобілями до 120 г/км пробігу, тобто майже на 20%. Вимоги будуть зростати й досягнуть норм викидів  $CO_2$  у кількості 95 г/км до 2020 року [6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Так, для поліпшення екологічних показників, паливної економічності та тягово-швидкісних властивостей легкових автомобілів зі значним пробігом у представлений роботі пропонується метод заміни застарілої системи живлення двигуна з іскровим запалюванням на електронну розподілену систему впорскування палива та зворотним зв'язком типу LH-Motronic. Рішенням завдання покращення експлуатаційних показників автомобілів в умовах експлуатації займаються такі вчені, як Ю.Ф. Гутаревич [4], А.В. Гунько, І.В. Манько [1] та ін.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** У роботі проводяться експериментальні дослідження використання системи впорскування зі зворотним зв'язком та системами нейтралізації шкідливих викидів у легкових автомобілях із карбюраторним двигуном в умовах експлуатації.

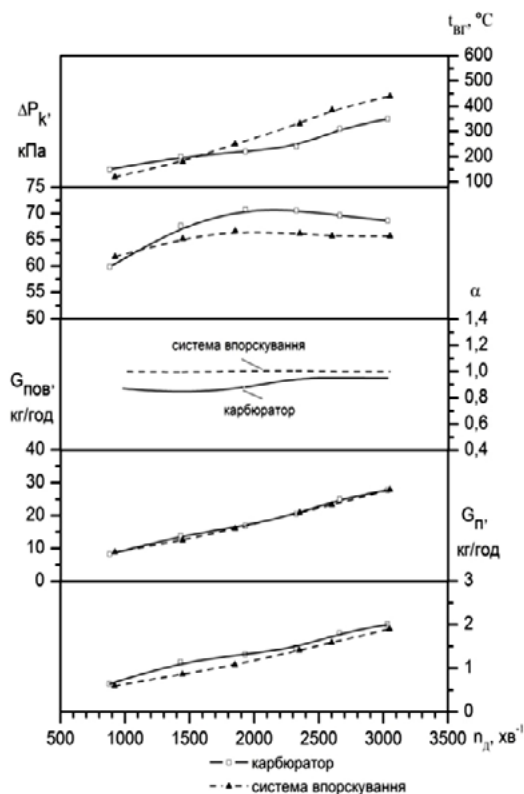
**Новизна.** Екологічні, паливо-економічні та енергетичні показники карбюраторного двигуна та легкового автомобіля, обладнаного електронною системою впорскування бензини та трикомпонентним каталітичним нейтралізатором відпрацьованих газів в умовах експлуатації.

**Виклад основного матеріалу.** Спочатку в лабораторії випробування двигунів визначалися порівняльні характеристики двигуна зі штатною системою живлення та системою впорскування в швидкісних режимах активного холостого ходу (рис. 1) [7].

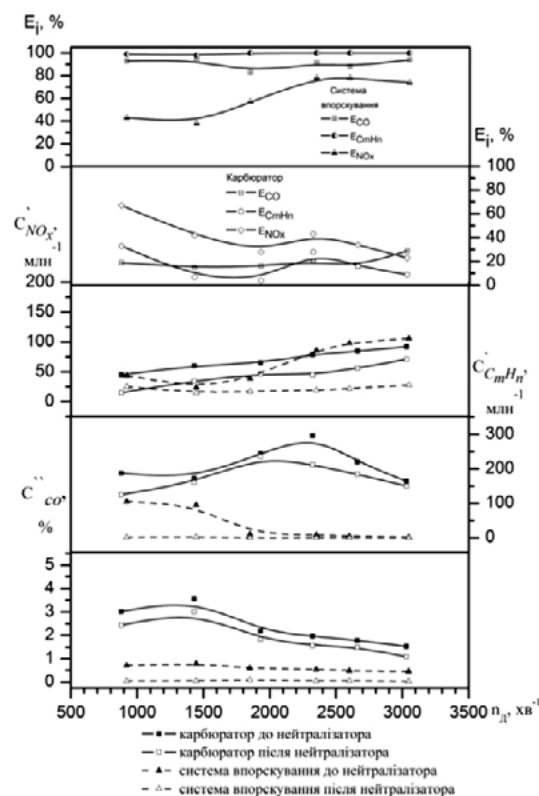
Як видно, система впорскування зменшує витрату палива на 11,1% (рис. 1 а). Характеристика з карбюраторною системою в режимах активного холостого ходу має збагачений склад паливно-повітряної суміші, що характеризується підвищеними концентраціями  $CO$ ,  $C_mH_n$  у відпрацьованих газах під час відбору проб до трикомпонентного каталітичного нейтралізатора порівняно з цими показниками під час застосування системи впорскування. Концентрації  $NO_x$  в режимах холостого ходу не є значними і різниця для різних систем живлення близька до точності заміру цієї речовини.

Як видно з рис. 1 б, система впорскування забезпечує ефективну нейтралізацію  $CO$ ,  $C_mH_n$  у межах 88–100% в усьому швидкісному режимі.

Ефективність нейтралізації  $NO_x$  за частот обертання 2350–3050  $хв^{-1}$  перебуває в межах 73–78%, а за низьких частот ефективність нейтралізації  $NO_x$



а) паливо-економічні показники



б) екологічні показники

Рис. 1. Характеристики активного холостого ходу двигуна 4С7,6/6,6 із різним типом системи живлення

знижується до 43,2%, що пояснюється зниженням температури відпрацьованих газів ( $t_{в2}$ ). Ефективність нейтралізації зі штатною системою живлення за всіма складниками значно нижча, окрім нейтралізації  $NO_x$  за низьких частот обертання, що можна пояснити більш високою температурою ( $t_{в2}$ ) перед нейтралізатором [8].

На рис. 2 показано навантажувальну характеристику двигуна за частоти обертання колінчастого валу двигуна  $2000 \text{ хв}^{-1}$ .

Як видно з рисунка 2 а, система впорскування покращує паливну економічність двигуна. Зниження питомої витрати палива за навантажувальною характеристикою складає 5%. Підвищились енергетичні показники двигуна: за повного навантаження потужність двигуна із системою впорскування зростає на 6,6%.

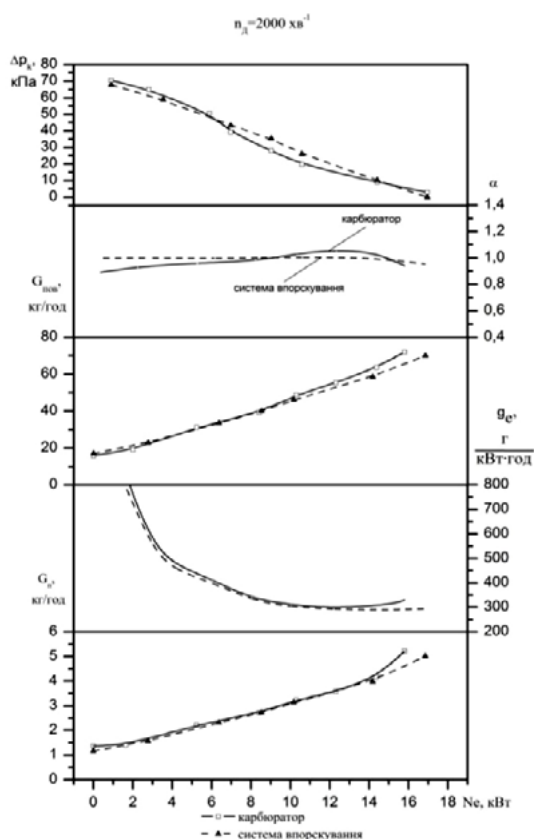
Як бачимо, екологічні показники двигуна покращуються із системою впорскування, про що свідчать низькі концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах до і після трикомпонентного каталітичного нейтралізатора (рис. 2 б).

Двигун зі штатною карбюраторною системою в режимах малих навантажень і холостого ходу має підвищені концентрації продуктів неповного згоряння ( $CO$ ,  $СmHn$ ) порівняно із системою впорскування (рис. 2 б).

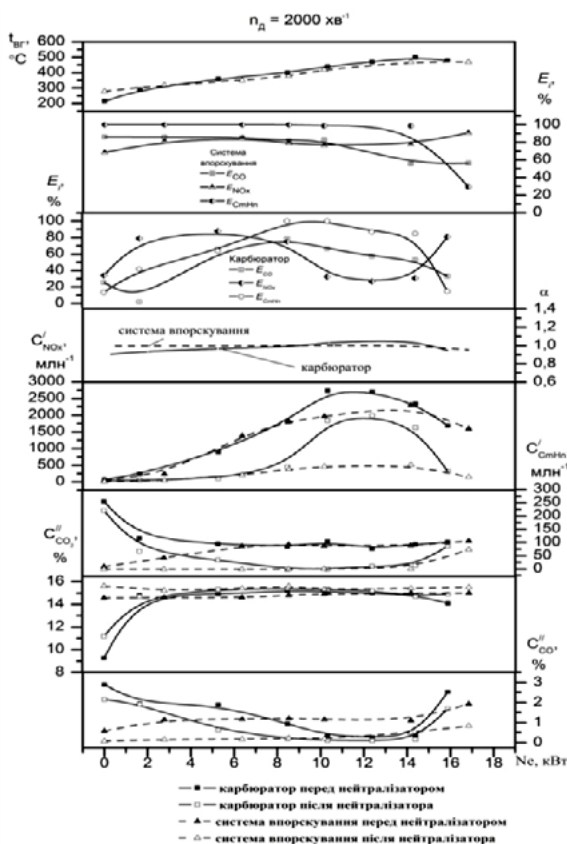
У діапазоні середніх навантажень і близьких до повного за карбюраторною системою концентрації  $NO_x$  також вищі. Це пояснюється збідненням складу суміші. Температура відпрацьованих газів ( $t_{в2}$ ) вища в тих навантаженнях, де паливоповітряна суміш більш бідна з тією чи іншою системою. На ділянці найбільш ефективного згоряння ( $\alpha = 1,03...1,05$ ), де концентрації  $CO$  і  $СmHn$  мінімальні, концентрація  $NO_x$  найбільша. Це пояснюється високими температурами процесу згоряння і достатньою кількістю кисню для протікання термічних реакцій утворення  $NO_x$ . На ділянці, де  $\alpha=0,95-0,94$  концентрація  $NO_x$  трохи нижча, хоча температура згоряння максимальна. Це є наслідком недостатньої кількості кисню.

Отже, різна зміна складу суміші з тією чи іншою системою відобразиться на концентраціях  $i$ -ої шкідливої речовини на виході з трикомпонентного каталітичного нейтралізатора. Як видно з рис. 2 б, у режимах холостого ходу ефективність нейтралізації  $CO$  і  $СmHn$  перебуває в межах 86–100% для системи впорскування, а з карбюраторною системою – 13–25%.

У навантажувальних режимах до збагачення паливно-повітряної суміші нейтралізація шкідливої речовини  $CO$  і  $СmHn$  під час використання системи впорскування становить 79–100% із карбюраторною системою 45–78% відповідно. За повного наванта-



а) паливно-економічні показники



б) екологічні показники

Рис. 2. Навантажувальна характеристика двигуна 4С7,6/6,6 із різним типом системи живлення

ження відбувається збагачення  $\alpha=0,95-0,94$ , нейтралізація для обох систем знижується. Ефективність нейтралізації  $NO_x$  в усьому діапазоні навантажувальної характеристики підвищується від 69% до 91% із системою впорскування, що пояснюється зростанням температури відпрацьованих газів ( $t_{\text{вг}}$ ). До того ж робота двигуна з карбюраторною системою забезпечує меншу ефективність нейтралізації  $NO_x$  (34–81%). Це пояснюється збагаченням складу суміші.

Після здійснення порівняльних досліджень двигуна зі штатною системою та системою впорскування тривали подальші дослідження автомобіля із системою впорскування і системою нейтралізації відпрацьованих газів на роликівому стенді AVL (рис. 3) [9].



Рис. 3. Автомобіль під час виконання їздового циклу

За результатами умовного руху автомобіля на бігових барабанах одержано значення витрати палива. Фрагмент отриманих результатів заміру витрати палива із системою впорскування показано на рис. 4.

Питомі масові викиди шкідливих речовин (г/км) під час виконання їздового циклу на роликівому стенді визначалися під час використання повно-поточної системи змішування відпрацьованих газів моделі CVS (Constant volume system) та газоаналітичної системи моделі MEXA7400DEGR фірми HORIBA.

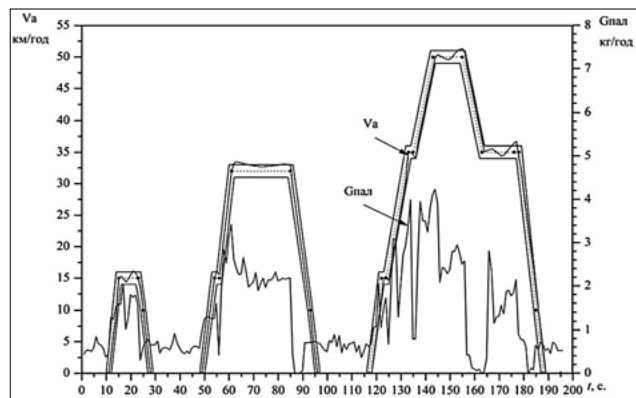


Рис. 4. Фрагмент руху автомобіля за їздовим циклом

Визначені питомі масові викиди шкідливих речовин за випробування наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Розраховані екологічні показники 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	1,08
$G_{C_mH_n}$	$\Sigma_{C_mH_n+NO_x} =$	0,21
$G_{NO_x}$		0,17
$G_{CO_2}$	-	211,52
$G_{\text{хсо}}$	-	8,93

Із таблиці видно, що питомі масові викиди шкідливих речовин автомобіля із системою впорскування не перевищують допустимих нормованих значень  $i$ -ої речовини, які підтверджують відповідність його до екологічних норм рівня «Євро-2».

Випробування полягали у визначенні експлуатаційної витрати палива автомобіля. Під час дорожніх випробувань витрату палива заміряли об'ємним витратоміром палива [10].

Усталений рух автомобіля виконувався з інтервалом 20 км/год, при цьому початковою була швидкість руху 20 км/год, а кінцевою – 100 км/год, які є поширеними в умовах експлуатації, рис. 7.

Як видно з рис. 5, залежності питомих витрат палива в усталеному русі збігаються. Завдяки своїй робочій характеристиці технічно справній і відрегульованій згідно з рекомендаціями заводувиробника карбюратор за постійної швидкості споживає не більше бензину, ніж електронна система впорскування.

Відомо, що тип системи живлення впливає на потужність двигуна, що характеризує тягово-швидкісні властивості автомобіля. Для перевірки цього проведено порівняльні дослідження для визначення динаміки розгону автомобіля до швидкості 90 км/год із карбюратором і системою впорскування за проміжного положенні дросельної заслінки ( $\varphi_{\text{др}}=70\%$ ),

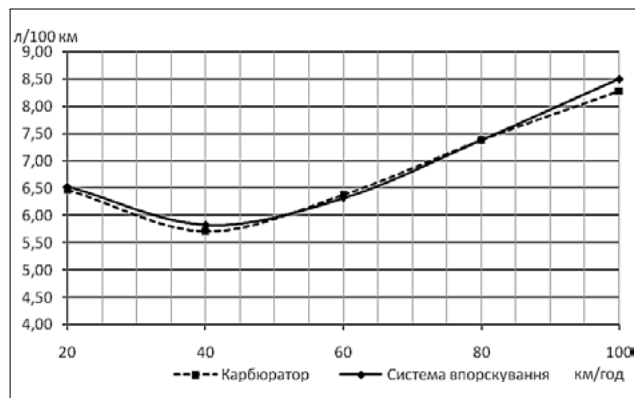


Рис. 5. Паливна характеристика автомобіля

Таблиця 2

## Результати дослідження динаміки розгону автомобіля

№ п/п заїзду	Карбюратор		Система впорскування		Зміна показників, %	
	Середній час, с.	Середня витрата палива, см <sup>3</sup>	Середній час, с.	Середня витрата палива, см <sup>3</sup>	Час, с.	Витрата палива, см <sup>3</sup>
1	24,09	68,3	22,93	63	4,81%	7,75%
2	24,50	73	23	60		
3	23,75	72	23,48	70		
4	24,08	64	22,61	60		
5	24,29	67	23,55	63		
6	23,54	67	22,58	60		
7	24,42	67	22,41	65		
Серед.	24,095	68,328	22,94	63		
$\sigma_x$	0,132	0,877	0,203	1,380		

яке широко використовується в умовах експлуатації. Результати дорожніх випробувань наведено в таблиці 2.

Як видно з цих даних, перехід до системи впорскування забезпечує зниження часу розгону на 4,81%, при цьому витрата палива за розгін знижується на 7,75%.

**Головні висновки.** Порівняльні дослідження бензинового двигуна на навантажувальному стенді з різними системами живлення показали, що робота із системою впорскування дозволяє зменшити витрату палива на 11,1%, у навантажувальній характеристиці в середньому на 5%, причому підвищилися енергетичні показники двигуна за повного навантаження, зокрема потужність зростає на 6,6%.

Експериментальні дані, одержані під час випробування на моделювальному роликівому стенді за режимами Європейського міського їздового циклу, свідчать про підвищення екологічного рівня двигуна автомобіля із системою впорскування та меншу

витрату палива за цикл під час порівняння зі штатною системою живлення двигуна.

Порівняльні випробування легкового автомобіля ВАЗ-21051 зі штатною системою живлення та системою впорскування бензину показали, що використання системи впорскування зменшує витрату палива в міських умовах на 7,3%. Під час руху автомобіля з постійною швидкістю витрата палива є однаковою для обох систем живлення. Динаміка розгону автомобіля покращується за роботи двигуна із системою впорскування бензину. Перехід до системи впорскування забезпечує зниження часу розгону на 4,81%, при цьому витрата палива за розгін знижується на 7,75%.

Після введення екологічних норм рівня «Євро-5» виникає проблема переведення автомобілів із пробігом для підтримки екологічних норм хоча б 3 та 4 рівня. Для цього необхідно використовувати інший блок та програму керування, введення в конструкцію двигуна системи автоматичної зміни фаз газорозподілу.

## Література

1. Гунько А.В., Славін, І.В., Манько В.В. Шляхи зниження шкідливих викидів легковими автомобілями в умовах експлуатації. *«Вісник Національного транспортного університету»*. 2011. № 22. С. 118–126.
2. Олена Токмиленко. Фіскальні методи регулювання викидів CO<sub>2</sub> автотранспортом в Україні. *Національний екологічний центр України*. 2014. С. 20. URL: [http://necu.org.ua/wp-content/uploads/Transport-UA\\_web\\_v2.pdf](http://necu.org.ua/wp-content/uploads/Transport-UA_web_v2.pdf) (дата звернення: 12.11.2018).
3. Редзюк А.М. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку. *Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний ін-т*. 2005. С. 208.
4. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путем оптимизации эксплуатационных факторов: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.10; 05.04.02. Киев, 1985. 533 с.
5. European Environment Agency. Towards a resource-efficient transport system TERM 2009: indicators tracking transport and environment in the European Union. 2010. 47 pp.
6. Славін В.В. Вплив типу системи живлення на показники паливної економічності автомобілів. *Проблеми транспорту*. 2012. № 9. С. 198–201.
7. Славін В.В. Вплив каталітичного нейтралізатора на токсичність двигуна з іскровим запалюванням. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки»*. 2018. № 1 (257). С. 232–236.
8. Славін В.В., Манько І.В., Гунько А.В. Вплив типу системи живлення на екологічні показники автомобіля в умовах експлуатації. *Вісник технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія «Автомобіле- та тракторобудування». Харків: НТУ «ХПІ». 2015. № 9 (1118). С. 69–76.
9. Редзюк А.М., Устименко В.С., Клименко О.А. Уведення екологічних норм Євро-3 – Євро-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками. *Автошляховик України*, 2011. № 4. С. 2–7.
10. J. Martin, T. Henrichs. European Environment Agency Environmental indicator report 2012. Ecosystem resilience and resource efficiency in a green economy in Europe 2012. EEA, Copenhagen. 2012. С. 156. URL: <http://www.eea.europa.eu/publications> (дата звернення: 12.11.2018).