

УДК 504.3.001.76:621.436

**Пушка О.С.<sup>1</sup>***к.т.н., доцент,***E-mail:** *pushka79@ukr.net***Войтік А.В.<sup>1</sup>***к.т.н., доцент,***E-mail:** *av.afex81@gmail.com***Назаренко О.О.<sup>2</sup>***к.т.н., доцент***E-mail:** *alex\_nazarenko@rambler.ru***Кутковецька Т.О.<sup>1</sup>***к.е.н., старший викладач***E-mail:** *tanua\_kit@ukr.net*<sup>1</sup>*кафедра процесів, машин та обладнання АПВ  
Уманський національний університет садівництва  
Умань, Україна*<sup>2</sup>*кафедра експлуатації машин та обладнання  
Полтавська державна аграрна академія  
Полтава, Україна*

## ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛІВ ЗА РАХУНОК ДОДАТКОВОЇ ПОДАЧІ ПОВІТРЯ В ЦИЛІНДРИ

### *Анотація*

В умовах сучасного стану розвитку енергетичних засобів, актуальними залишаються задачі покращення протікання перехідних процесів дизеля з турбонаддувом, паливно-економічних показників, а також зменшення димності відпрацьованих газів за рахунок додаткової подачі повітря в циліндри дизеля. Одним із способів поліпшення характеристик дизелів є застосування газотурбінного наддуву із короткочасною подачею стиснутого повітря з балонів у циліндри дизеля.

Дослідження спирається на розробку системи автоматичного регулювання додаткової подачі повітря в циліндри автотракторних дизелів по оптичній щільності відпрацьованих газів. Додаткова подача повітря скорочує час протікання перехідного процесу, покращує екологічні, динамічні й паливно-економічні показники.

Результатом розробленої системи автоматичного регулювання є забезпечення корегування подачі повітря по заданому значенню гранично допустимої димності відпрацьованих газів на всіх режимах роботи дизеля. При розгоні на холостому ході спостерігається скорочення часу протікання перехідного процесу на 0,2 с, значення димності відпрацьованих газів знижується на 31%, а масових викидів сажі на 51%. Більш ефективна робота двигуна супроводжується зменшенням питомої ефективноної витрати палива на 6-8%.

**Ключові слова:** *паливно-економічні показники, двигуни, турбонаддув, дизелі, перехідні процеси, димність відпрацьованих газів, циліндри.*

**Вступ.** В наш час великої актуальності набула проблема раціонального використання природних ресурсів, особливо енергетичних, оскільки вона є частиною глобальних проблем раціонального природокористування та охорони навколишнього середовища. Дана проблема в повній мірі відноситься і до автомобільного транспорту, тракторів, комбайнів й інших самохідних машин на яких встановлено поршневі двигуни

внутрішнього згорання (ДВЗ), оскільки вони на сьогодні займають основне місце в балансі споживачів палива із нафтопродуктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у дослідження щодо удосконалення роботи двигунів та вплив їх на навколишнє середовище зробили вчені: А.Ф. Головчук [1, с. 68-74], М.І. Гуменчук [2, с. 8], К.Є. Долганов [4, с. 189-193], П.М. Каніло [6, с. 304-310], А.Н. Карташевич [7, 28-30], Л.Н. Крепс [8, с. 5-8], В.І. Крутов [9, с. 213-319] та ін.

Проте, завдання покращення протікання перехідних процесів дизеля залишаються не повністю дослідженими, що й визначає актуальність даного дослідження.

**Мета.** Метою наукових досліджень є поліпшення протікання перехідних процесів дизеля з турбонаддувом, паливно-економічних показників, а також зменшення димності ВГ за рахунок додаткової подачі повітря в циліндри дизеля.

**Методологія дослідження.** Дослідження проводилось на основі математичного методу моделювання, який зарекомендував себе як ефективний засіб виявлення суттєвих ознак, явищ та процесів за допомогою моделі. За допомогою неї вивчалися ті процеси і явища, що не піддавалися безпосередньому вивченню. Математичне моделювання поділялося на окремі етапи, а саме визначення статичних та динамічних характеристик дизеля на основі наявних відомостей.

**Результати.** Дія енергетичних засобів на навколишнє середовище супроводжується не тільки проблемами природних ресурсів, а й забрудненням довкілля.

Соціально-економічні наслідки забруднення повітряного басейну шкідливими викидами потребують ретельного визначення причин підвищення виділення токсичних речовин автотракторними і комбайновими двигунами та інтенсивних пошуків шляхів їх вирішення.

Кількість токсичних речовин у відпрацьованих газах (ВГ) дизелів залежить від багатьох факторів:

- надмірна складність забезпечення ефективного протікання процесів сумішоутворення і згорання в дизелях через їх короткотривалість;
- недостатнє погодження характеристик дизеля і системи автоматичного регулювання (САР) на перехідних режимах роботи;
- погодження конструктивних параметрів дизеля та ін.

За своєю природою, відпрацьовані гази представляють собою складну багатокомпонентну суміш газів, краплин рідини, твердих частинок (сажі). В загальному складі ВГ найбільшу небезпеку складає канцерогенна поліциклічна ароматична сполука – бенз(а)пірен, яка адсорбується сажовими частинками та швидко поширюється в навколишньому середовищі. Важкі фракції високотоксичних викидів акумулюються на поверхні ґрунту, листках та плодах, а легкі – створюючи аерозолі, розповсюджуються з повітрям на великі відстані [1].

Як показує вітчизняний та зарубіжний досвід, заходи щодо розробки та впровадження методів зниження токсичності і димності ВГ, а також покращення паливної економічності тісно пов'язані з підвищенням технічного рівня двигунів. Утворення токсичних речовин і димність відпрацьованих газів знаходиться в безпосередній залежності від досконалості процесу сумішоутворення та протікання робочого циклу дизеля. Крім цього в експлуатаційних умовах роботи на ці показники значною мірою впливає система автоматичного регулювання (САР) подачі палива та повітря.

Одним із резервів зниження експлуатаційної витрати палива автотракторних та комбайнових дизелів є оптимальне пристосування САР швидкості дизеля до умов його роботи. В останній час з'явився особливий інтерес до досліджень різноманітних способів

регулювання швидкості транспортних дизелів. Це пояснюється тим, що правильний вибір методу регулювання швидкості дизеля в залежності від умов роботи трактора або машинно-тракторного агрегату (МТА) дозволяє покращити паливо-економічні, енергетичні, динамічні й токсичні характеристики.

До сучасних автотракторних дизелів з газотурбінним наддувом ставляться високі вимоги щодо можливості їх роботи в широкому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимів, щоб поряд з форсуванням номінального режиму забезпечити підвищення значень крутного моменту на малих та середніх швидкісних режимах при допустимій питомій витраті палива.

Виконання такої задачі пов'язане з рядом труднощів. Так, шляхом коректування циклової подачі палива при роботі по зовнішній характеристиці можна створити такі умови паливоподачі, які необхідні для отримання необхідного коефіцієнта пристосованості роботи дизеля. Але реалізація заданих умов можлива лише в тому випадку, коли на всіх режимах роботи циклова подача палива буде забезпечена відповідною цикловою подачею повітря. І тому, крім пристосованості до даних умов роботи паливної апаратури, необхідно забезпечити пристосованість і системи наддуву дизеля.

Турбокомпресор підбирають таким чином, щоб на заданому режимі роботи дизель мав найкращі показники щодо потужності та економічності. Відхилення від таких режимів призводить до невідповідності гідравлічної характеристики дизеля та пропускної здатності турбіни і компресора, а загалом до зниження їх коефіцієнта корисної дії.

У зв'язку з цим на перехідних режимах роботи знижується тиск наддуву турбіни, погіршується процес сумішоутворення та згорання палива в циліндрах, як наслідок це призводить до зменшення потужності та збільшення витрати палива, значно підвищується токсичність та димність відпрацьованих газів.

Для покращення роботи дизелів в цих умовах найбільш доцільно застосовувати регулювання турбіни чи компресора, впроваджувати засоби по модернізації системи повітрязабезпечення або встановлювати системи автоматичного регулювання додаткової подачі повітря [3].

Одним із перспективних напрямків вдосконалення процесу сумішоутворення є впровадження в системи автоматичного регулювання спеціальних пристроїв, які здійснюють коректування за безпосереднім показником роботи дизелів – оптичною щільністю відпрацьованих газів.

Авторами розроблена система автоматичного регулювання подачі повітря для тракторних і комбайнових дизелів типу 6ЧН13/11,5. В ході створення дослідної САР було розроблено конструкцію та обґрунтовано технічні параметри електронного блоку керування робота якого основана на зборі інформації про параметри роботи дизеля відповідними датчиками з послідуочим їх аналізом та видачею керуючого сигналу на виконуючий пристрій. Для створення запасу стиснутого повітря в пневматичній частині САР встановлено повітряні балони [10].

Для визначення динамічних характеристик та димності ВГ тракторного дизеля 6ЧН13/11,5 було проведено його розгін на холостому ходу без дослідної системи автоматичного регулювання додаткової подачі повітря та з нею.

Димність ВГ замірялась на холостому ходу, режимі вільного прискорення і максимальної частоти обертання колінчастого вала. Вимірювання димності на режимах вільного прискорення і максимальної частоти обертання колінчастого вала проводились оптичним димоміром ДО-1. На режимі вільного прискорення вимірювання проводились при 10-ти кратному повторюванні циклів розгону дизеля від  $960 \text{ хв}^{-1}$  до максимальної

2280 хв<sup>-1</sup> частоти обертання колінчастого вала (КВ). При цьому за допомогою осцилографа фіксувались значення димності ВГ, частоти обертання КВ, відмітка часу [5].

У результаті встановлено, що дизель не відповідає вимогам державного стандарту по гранично допустимим нормам димності. Це пов'язано з тим, що при розгоні на холостому ходу дозатори виходять на упор максимальної подачі палива, а за рахунок інерційності, турбокомпресор не може забезпечити подачу необхідної кількості повітря для повного згорання суміші. При цьому димність ВГ досягає значень 100% при гранично допустимому значенні 40%.

Успішна робота розробленої САР дозволила виконати серію моторних випробувань дизеля 6ЧН13/11,5. У відповідності з вимогами ДСТУ UN/ECE R 24-03:2002, на дослідній моторній установці проводилась серія вільних прискорень [10]. Для цього приймалось, що приведений момент інерції дизеля дорівнює приведеному моменту інерції машинно-тракторного агрегату  $I_0=I_{мта}$  і  $H_{пр}=0$ . Розгін дизеля виконувався шляхом переміщення важеля керування механічним регулятором паливного насосу високого тиску із початкового положення, що характеризується деформацією його пружин приведеною до муфти відцентрового чутливого елемента, в кінцеве, обмежене регулювальним гвинтом максимальної частоти обертання кулачкового вала. В результаті координата  $z_{зв4}$  задаючої дії змінюється від 1,761 до 6,441 мм.

На рис.1. для прикладу показано порівняльні дослідження перехідних процесів дизеля 6ЧН13/11,5 на холостому ходу. Прискорення дизеля починали з усталеного режиму без навантаження, розрахованого на математичній моделі швидкісних характеристик з відповідними параметрами диференційних рівнянь.

Перехідний режим роботи дизеля з турбонадувом без системи додаткової подачі повітря характеризується низькою якістю робочого процесу. В період розгону дизеля протягом 1,8 с збільшується подача палива при незмінній подачі повітря. При цьому коефіцієнт надлишку повітря через 0,8 с знижується до  $\alpha=1,2$ , а потім плавно через 1,6 с збільшується до  $\alpha=7,3$  і через 1,8 с стабілізується в межах  $\alpha=5,8$ . Перехідний процес проходить з пониженими значеннями частоти обертання ротора турбокомпресора  $n_{ткр}$ , витрати повітря  $G_v$ , тиску наддуву  $p_k$  та інших показників. Значення димності відпрацьованих газів досягає  $N=100\%$  через 0,6 с і стабілізується у межах допустимих норм  $N=40\%$  тільки через 1,5 с з початку протікання перехідного процесу. Значне підвищення димностей відпрацьованих газів призводить до збільшення викидів сажі. Через 0,8 с максимальне значення масових викидів сажі в атмосферу становить  $G_c=369$  г/год і тільки через 1,8 с після виходу дизеля на новий усталений режим складає  $G_c=2,7$  г/год.

Вмикання додаткової подачі повітря відбулося через 0,45 с після початку протікання перехідного процесу, тобто коли значення димності відпрацьованих газів перевищило гранично допустиму норму  $N=40\%$ . Затримка відбулася за рахунок інерційності обробки сигналу та подачі його на виконуючий пристрій електронним блоком керування системи автоматичного регулювання додаткової подачі повітря.

Додаткова подача повітря в циліндр дизеля забезпечила краще протікання перехідного процесу при більшому тиску наддуву і більшому значенні коефіцієнта надлишку повітря.

Покращення процесу сумішоутворення і згорання в циліндрах дизеля призвело до збільшення коефіцієнта надлишку повітря, який через 1,6 с дорівнював  $\alpha=7,9$ , а потім відбулась його стабілізація до  $\alpha=5,8$ . Також спостерігається підвищення тиску газів перед турбіною, що в свою чергу призвело до збільшення частоти обертання ротора турбокомпресора максимального значення  $n_{ткр}=30006$  хв<sup>-1</sup> якого він досяг через 1,4 с. Збільшення частоти обертання ротора турбокомпресора, а також додаткова подача

повітря призвели до підвищення тиску наддуву компресором.

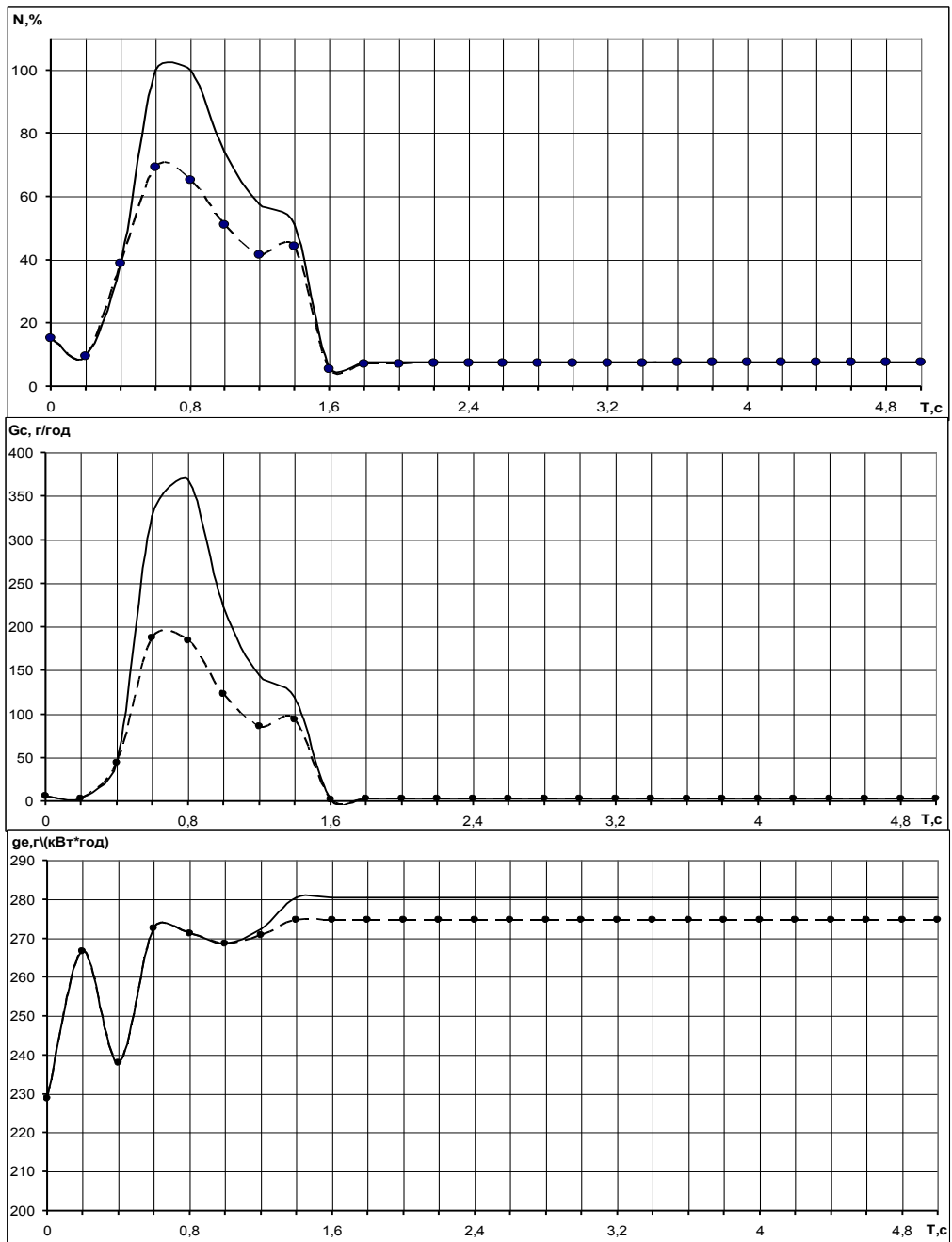


Рис. 1. Перехідні процеси дизеля 6ЧН13/11,5 при розгоні на холостому ходу  
( $I_d=3,85\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$ ;  $N_{шт}=0$ )

- без додаткової подачі повітря
- - - з додатковою подачею повітря

За рахунок підвищення крутного моменту і збільшення потужності дизеля знизилась середня питома ефективна витрата палива з  $g_e=280,3$  г/(кВт·год) до  $g_e=274,7$  г/(кВт·год), що пояснюється більшою ефективною роботою двигуна за час протікання перехідного процесу і при однаковій цикловій подачі палива в циліндри ( $q_u=\text{const}$ ).

Протікання перехідного процесу характеризується пониженим значенням димності відпрацьованих газів, а максимальне його значення сягає  $N=69\%$  через 0,6 с, а далі за рахунок подачі додаткового повітря знижується. Також спостерігається значне зниження викидів сажі максимальне значення яких через 0,6 с становить  $G_c=187$  г/год і через 1,6 с стабілізується в межах  $G_c=2,5$  г/год.

Витрата додаткового повітря з балонів  $G_{\text{пов.дод}}$  складає 0,47 кг за 1,1 с при цьому тиск в балонах зменшився з 0,75 мПа до 0,6 мПа.

**Висновки і перспективи.** Дослідна система автоматичного регулювання забезпечує коректування подачі повітря по заданому значенню гранично допустимої димності ВГ на всіх режимах роботи дизеля.

При розгоні на холостому ходу спостерігається скорочення часу протікання перехідного процесу на 0,2 с, значення димності відпрацьованих газів знижується на 31%, а масових викидів сажі на 51%. Більш ефективна робота двигуна супроводжується зменшенням питомої ефективної витрати палива на 6-8%. Додаткова подача повітря також призводить до збільшення коефіцієнту надлишку повітря протягом всього перехідного процесу; перехідний процес протікає при більш низькій (на 30-40 °С) температурі відпрацьованих газів, завдяки чому зменшується теплова напруженість циліндропоршневої групи.

#### Список використаних джерел

1. Головчук А. Ф., Пушка О. С. Автоматичне регулювання турбонаддуву тракторних і комбайнових двигунів СМД. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2004. Вип. 2. С. 68–74.
2. Гуменчук М. І., Лісовал А. А. Особливості швидкісних характеристик автомобільного дизеля СМД-23.07. 59 наукова конференція професорського-викладацького складу і студентів Національного транспортного університету : тези доп. / НТУ. Київ : Вид-во НТУ, 2003. С. 8.
3. Головчук А. Ф., Пушка О. С. Деклараційний патент на корисну модель № 15479 МПК (2006) F02D 33/00. Система регулювання подачі повітря в дизель. № u2005094430; заявл. 07.10.2005 ; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.
4. Долганов К. Е., Лісовал А. А., Гуменчук М. И. Улучшение внешней скоростной характеристики дизеля путем автоматического регулирования давления наддува. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2004. № 7 (15). С. 189–193.
5. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження двигунів із запалюванням від стиснення стосовно викиду видимих забруднюючих речовин : ДСТУ UN/ECE R 24-03:2002. Київ : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. 80 с.
6. Каніло П. М., Бей І. С., Ровенський О. І. Автомобіль та навколишнє середовище. Харків : Прапор, 2000. 304 с.
7. Каргашевич А. Н., Горелько В. М., Крепс Л. И. Расчет основных параметров системы автоматической подачи дополнительного воздуха при работе автотракторного дизеля с наддувом на переходных режимах. *Двигателестроение*. 1991. № 6. С. 28–30.
8. Крепс Л. И., Вайнштейн Г. Я. Математическая модель автотракторного дизеля с наддувом при неустановившейся нагрузке. *Двигателестроение*. 1982. № 12. С. 5–8.
9. Крутов В. И., Рыбальченко А. Г. Регулирование турбонаддува ДВС: учебное пособие для вузов. Москва : Высшая школа, 1987. 213 с.
10. Пушка О. С. Автоматична система регулювання подачі повітря дизеля з турбонаддувом. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2006. Вип. 41. С. 89–94.

Дата надходження статті до редакції : 09.10.2017

Рецензування : 24.10.2017 Прийнято до друку : 14.12.2017

**Pushka O.S.<sup>1</sup>***PhD (Technics), Associate Professor***E-mail:** *pushka79@ukr.net***Voitik A.V.<sup>1</sup>***PhD (Technics), Associate Professor***E-mail:** *av.afex81@gmail.com***Nazarenko O.O.<sup>2</sup>***PhD (Technics), Associate Professor***E-mail:** *alex\_nazarenko@rambler.ru***Kutkovetska T.O.<sup>1</sup>***PhD (in Economics), Senior Professor***E-mail:** *tanya\_kut@ukr.net*

<sup>1</sup>*Department of Processes, Machinery and Equipment of Agro-Industrial Production  
Uman National University of Horticulture  
Uman, Ukraine*

<sup>2</sup>*Department of machines and equipment operation  
Poltava State Agrarian Academy  
Poltava, Ukraine*

## **ECOLOGICAL, TECHNICAL AND ECONOMICAL PERFORMANCE INHANCEMENT IN DIESELS AS A RESULT OF ADDITIONAL AIR SUPPLY OF THE CYLINDERS**

**Abstract**

*The issues of improving the transition processes in turbocharging diesel engines, strengthening fuel and economic performance, as well as reducing smoke content in exhaust gases due to additional air supply of diesel cylinders, are up-to-date. One of the ways to improve the performance of diesel engines is the use supercharger gas turbine with a short-term supply of compressed air from bombs to diesel cylinders.*

*The research is based on the development of an automatic regulation system for the additional air supply of automotive diesel engines cylinders in terms of optical density of exhaust gases. Additional air supply reduces the time of the transition process, improves environmental, dynamic, fuel and economic indicators.*

*The developed automatic control system provides adjustment of air supply at a given value of the maximum acceptability of smoke content in exhaust gases within all modes of the diesel engine operation. The study demonstrated that there is cutting time of about 0.2 seconds in the transition process, the value of smoking content in exhaust gases is reduced at 31%, and the mass soot emission is reduced at 51%. The results of the study suggest that more efficient work of the engine is accompanied by a decrease of powerful fuel burn at 6-8%.*

**Keywords:** *fuel and economic indices, engines, turbocharging, diesel engines, transition process, smoking content, exhaust gases, cylinders.*

**References**

1. Holovchuk, A. F., & Pushka, O. S. (2004). Avtomatychnе rehuliuвання turbonadduvu traktornykh i kombainovykh dvyhuniv SMD [Automatic regulation of the turbocharger of tractor and combine SMD engines]. *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnogo ahrarnoho universytetu [Bulletin of the Dnipropetrovsk State Agrarian University]*, 2, 68–74. [in Ukrainian].
2. Humenchuk, M. I., & Lisoval, A.A. (2003). *Osoblyvosti shvydkisnykh kharakterystyk avtomobilnoho dyzelia SMD-23.07* [Features of high-speed characteristics of automobile diesel SMD-23.07]. Presented at the 59 meeting. Natsionalnyi transportnyi universytet, Kyiv [in Ukrainian].
3. Holovchuk A. F., & Pushka, O. S. (2006). Deklaratsiynyi patent na korysnu model 15479 MPK (2006) F02D 33/00. Systema rehuliuвання podachi povitria v dyzel. № u2005094430; appl. 07.10.2005; publ. 17.07.2006, Bull. № 7. [in Ukrainian].
4. Dolhanov, K. E., Lysoval, A. A., & Humenchuk, M. Y. (2004). Uluchshenye vneshnei skorostnoi kharakterystyky dyzelia putem avtomatycheskoho rehulyrovannya davleniya nadduva

[Improvement of the external speed characteristics of the diesel engine by automatically adjusting the pressure of the boost]. *Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnika y tekhnolohyia*, 7 (15), 189–193. [in Russian].

5. Iedyni tekhnichni prypysy shchodo ofitsiinoho zatverdzhennia dvyhuniv iz zapaliuvanniam vid stysnennia stosovno vykydu vydymykh zabrudniuiuchykh rechovyn. (2002.) *DSTU UN/ECE R 24-03:2002*. Kyiv: Derzhavnyi komitet Ukrainy z pytan tekhnichnoho rehuliuвання ta spozhyvchoi polityky.

6. Kanilo, P. M., Bei, I. S., & Rovenskyi, O. I. (2000). *Avtomobil ta navkolyshnie seredovyshche* [Car and the environment]. Kharkiv: Prapor [in Ukrainian].

7. Kartashevych, A. N., Horelko, V. M., & Kreps L. Y. (1991). Raschet osnovnykh parametrov systemy avtomaticheskoi podachy dopolnytelnoho vozdukha pry rabote avtotraktornoho dyzelia s nadduvom na perekhodnykh rezhymakh [Calculation of the basic parameters of the system of automatic supply of additional air during the operation of an autotractor diesel with supercharged transient conditions]. *Dvyhatelestroenye*, 6, 28–30. [in Russian].

8. Kreps, L. Y., & Vainshtein, H. Ia. (1982). Matematycheskaia model avtotraktornoho dyzelia s nadduvom pry neustanovyvsheisia nahruzke. [Mathematical model of autotractor diesel with supercharged load at unsteady load]. *Dvyhatelestroenye*, 12, 5–8. [in Russian].

9. Krutov, V. Y., & Rubalchenko A. H. (1987). *Rehulyrovanye turbonadduva DVS* [Regulation of turbocharging ICE]. Moskva: Vushhaia shkola. [in Russian].

10. Pushka, O. S. (2006). Avtomatychna systema rehuliuвання podachi povitria dyzelia z turbonadduvom [Automatic turbocharged air supply control system]. *Pratsi Tavriiskoi derzhavnoi ahrotekhnichnoi akademii*, 41, 89–94. [in Ukrainian].

*Received: October 09, 2017*

*Revision October 24, 2017 Accepted December 14, 2017*