

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ ПОКРАЩЕННЯ СКЛАДУ СУМІШЕВОГО БІОПАЛИВА З РОСЛИННИХ ОЛІЙ

В статті наведені аналітичні і теоретичні шляхи збільшення ефективної потужності машинних агрегатів та визначення впливу цього підвищення на техніко-економічні та екологічні показники роботи дизельного двигуна внутрішнього згорання. Використання біопалив на основі олій рослинного походження дозволяє зменшити використання мінерального палива і покращити екологічні показники. Проте при використанні палива, в якому вміст біокомпонента перевищує 50%, спостерігається погіршення техніко-економічних показників дизельного двигуна. Тому проведений детальний аналіз роботи силового агрегату на різних видах сумішевого палива та встановлені закономірності впливу зміни відсоткового складу палива на техніко-економічні показники двигуна. Показано переваги використання біопалив на основі рослинних масел в дизельних двигунах. Запропоновано методики визначення оптимального складу сумішевих палив, що містять мінеральне дизельне паливо і метиловий ефір рапсової олії. У методиках узагальнений критерій оптимальності визначаємо з виведення двох приватних критеріїв. В якості критерію паливної економічності η_e прийнято ефективний ККД двигуна, а в якості критерію токсичності відпрацьованих газів JNO_x - викид найбільш значущого токсичного компонента - оксиди азоту. Наведено переваги застосування різних біопалив з рослинних олій у двигунах внутрішнього згорання. Були проаналізовані різні методики і вибрана оптимальна для покращення складу сумішевого біопалива, що містить різний відсотковий склад. При застосуванні розглянутих методик проведені оптимізаційні розрахунки дизельного двигуна Д-240 на різних видах палива. Визначено, що серед досліджуваних сумішевих палив найкращими техніко-економічними характеристиками володіє суміш, що містить 70% мінерального палива і 30% біопалива на основі ріпакової олії. До того ж, найкращі екологічні показники досягаються при регулюванні складу дозованої паливної суміші при зміні частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Ключові слова: дизельний двигун, нафтове дизельне паливо, рапсова олія, метиловий ефір рапсової олії, сумішеве біопаливо, екологічні характеристики, токсичність відпрацьованих газів.

I.V. GUNKO, S.A. BURLAKA, R.O. YAROSHUK
Vinnytsia National Agrarian University

CHOICE OF THE OPTIMUM METHOD OF IMPROVING THE COMPOSITION OF THE MIXED BIOPUFF FROM WINE OILS

The article provides analytical and theoretical ways of increasing the effective power of machine aggregates and determining the impact of this increase on the technical and economic and environmental performance of the diesel engine of internal combustion. The use of biofuels on the basis of vegetable oils helps to reduce the use of mineral fuel and improve environmental performance. However, when using fuel, in which the content of the biocomponent exceeds 50%, there is a deterioration of the technical and economic indicators of the diesel engine. Therefore, a detailed analysis of the power unit's operation on various types of blended fuel has been carried out and the regularities of the effect of a percentage change in fuel composition on the technical and economic parameters of the engine have been established. The advantages of using biofuels based on vegetable oils in diesel engines are shown. The methods of determining the optimal composition of mixed fuels containing mineral diesel fuel and rapeseed methyl ester are proposed. In the methods of generalization, we determine the optimality criterion from the derivation of two private criteria. As a criterion of fuel efficiency η_e we adopted effective efficiency of the engine, and as a criterion of toxicity of exhaust gases JNO_x - emission of the most significant toxic component - nitrogen oxides. The advantages of using different biofuels from vegetable oils in internal combustion engines are presented. Different techniques were analyzed and the optimal choice was chosen for improving the composition of mixed biofuels containing different percentage composition. At application of the considered methods conducted optimization calculations diesel engine D-240 on various types of fuel. It has been determined that among the studied blended fuels the best technical and economic characteristics are the mixture containing 70% mineral fuel and 30% biofuel based on rapeseed oil. In addition, the best environmental performance is achieved when adjusting the composition of the metered fuel mixture when changing the frequency of rotation of the crankshaft of the engine.

Keywords: diesel engine, oil diesel fuel, rapeseed oil, rapeseed methyl ester, mixed biofuels, environmental characteristics, toxicity of exhaust gases.

Вступ

В даний час основна частина моторних палив виготовляється з нафти. Разом з тим все більше знаходять використання інші види енергії, що називаються альтернативними [1; 4]. До 2020 р. в Європі планується перевести близько чверті (23%) всього автомобільного парку на альтернативні палива: природний газ – 10% (23,5 млн автомобілів), біогаз – 8% (18,8 млн. автомобілів), водень (паливні елементи) -5% (11,7 млн автомобілів). Підвищений інтерес до проблеми використання альтернативних палив в двигунах внутрішнього згорання обумовлений виснаженням нафтових ресурсів, підвищенням цін на нафту і нафтопродуктів, і назрілою необхідністю вирішення екологічних проблем, викликаних зростанням числа транспортних засобів.

Необхідно відзначити перспективність використання альтернативних палив. В якості сировини для виробництва палив можуть бути використані відходи лісозаготівлі і лісопереробки, деревина, продукти і відходи сільськогосподарського виробництва, відходи харчової промисловості, біогази, водорості та інші морські біоресурси. Використання палив рослинного походження забезпечує кругообіг вуглекислого газу в атмосфері, оскільки при спалюванні біопалива в двигунах внутрішнього згорання в атмосферу надходить

приблизно така ж кількість вуглекислого газу, що поглинається в процесі вирощування сировини. Це призводить до зменшення викиду парникових газів і запобігає виникненню парникового ефекту.

При роботі дизельних двигунів на біопаливах, як правило, відзначається помітне зменшення емісії токсичних компонентів у відпрацьованих газах (ВГ). У першу чергу, це відноситься до димності ВГ і викидів інших продуктів неповного згорання палива, число яких при використанні біопалив знижується в 1,5-2 рази. Слід зазначити, що за своїми фізико-хімічними властивостями біопаливо ближче до дизельного палива, ніж до бензинів: воно має порівняно високу щільність і в'язкість, погану випаровуваність. Тому використання можливе лише в дизелях, з меншою чутливістю до властивостей застосовуваного палива. До того ж дизельні двигуни, працюючи з великим ступенем стиску і коефіцієнта надлишку повітря, характеризуються кращими показниками паливної економічності і токсичності ВГ. Разом з тим біопалива мають фізико-хімічні властивості, що відрізняються від властивостей мінерального дизельного палива (ДП).

Мета і задачі роботи

Тому при переобладнанні двигунів, спочатку адаптованих до роботи на ДП, при переобладнанні на біопаливо, виникає ряд проблем, пов'язаних з організацією робочих процесів, в першу чергу - подачі палива, розпилювання палива, сумішоутворення і згорання. При цьому можливе порушення вихідних регулювань дизелів, погіршення ряду експлуатаційних показників, збільшення зносу деталей двигуна і зменшення ресурсу роботи.

Аналіз останніх досліджень

Однією з проблем, що виникає при адаптації дизеля до роботи на сумішевих біопаливах, є вибір складу цих сумішей. Оpubліковані в технічній літературі дані, [2; 5; 6], не дозволяють однозначно визначити найбільш використовуваний склад сумішевих біопалив. На сучасному етапі розвитку машинобудування найважливішим показником роботи дизелів є токсичність ВГ, тобто викиди в атмосферу нормованих токсичних компонентів - оксидів азоту NO_x , моно оксиду вуглецю CO , незгорілих вуглеводнів CH_x і твердих частинок, основними компонентами яких є сажа (вуглець C) [3; 7; 8]. Це обумовлено як погіршенням екологічної ситуації, так і жорсткістю вимог до нормативної документації на токсичність ВГ. Недостатньо високі екологічні показники дизелів, що працюють на нафтових ДП, також є причиною до більш широкого використання біопалив. Як зазначено вище, найбільшого використання набула рапсова олія, але можливе використання інших рослинних олій (сонячної, соєвої та ін.) [4].

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості досліджуваних палив

Фізико-хімічні властивості	Палива						
	ДП	МЕРО	95% ДТ + 5% МЕРО	90% ДТ + 10% МЕРО	80% ДТ + 20% МЕРО	60% ДТ + 40% МЕРО	40% ДТ + 60% МЕРО
Щільність при 20 °С, кг/м ³	830	877	832	835	839	848	858
В'язкість кінематична при 20 °С, мм ² /с	3,8	8,0	3,94	4,09	4,41	5,2	6,0
Теплота згорання нижча, МДж/кг	42,5	37,8	42,2	41,9	41,5	40,5	39,6
Кількість повітря, необхідна для згорання 1 кг речовини, кг	14,3	12,6	14,2	14,1	14,0	13,6	13,3
Зміст, % по масі							
С	87,0	77,6	86,5	86,1	85,1	83,2	81,4
Н	12,6	12,2	12,6	12,5	12,5	12,4	12,3
О	0,4	10,2	0,9	1,4	2,4	4,4	6,3
Загальний вміст сірки, % по масі	0,2	0,002	0,19	0,18	0,16	0,12	0,08

Виклад основного матеріалу

При використанні сумішевих біопалив різного складу питома ефективна витрата палива g_e не в повній мірі характеризує ефективність процесу згорання, оскільки палива мають різну теплотворну здатність. Тому в процесі оптимізації складу сумішевого палива в якості критерію оптимальності, що характеризує паливну економічність, обрано ефективний ККД двигуна η_e . В якості приватних критеріїв оптимальності, вибрано токсичність ВГ, вміст нормованих токсичних компонентів - оксидів азоту NO_x , моно оксиду вуглецю CO , незгорілих вуглеводнів CH_x . Крім того, необхідно врахувати викиди сажі або твердих частинок. Але визначення димності ВГ практично більш доступно, ніж визначення викиду твердих

частинок. Для вибору найбільш доцільною методики оптимізації складу сумішевого палива запропоновані наступні три методики. У першій методиці узагальнений критерій оптимальності J_o формується у вигляді виведення двох приватних критеріїв. В якості критерію паливної економічності J_{he} прийнятий ефективний ККД двигуна, а в якості критерію токсичності ВГ J_{NOx} - викид найбільш значущого токсичного компонента ВГ оксидів азоту.

Такий узагальнений критерій оптимальності можна записати у вигляді:

$$J_o = J_{\eta_e} \times J_{NOx} = \frac{\eta_{eД}}{\eta_{ei}} \times \frac{C_{NOxi}}{C_{NOxД}} \quad (1)$$

де $\eta_{eД}$ і $C_{NOxД}$ - ефективний ККД і концентрація оксидів азоту дизеля, що працює на нафтовому ДП; η_e і C_{NOxi} - ефективний ККД і концентрація оксидів азоту у ВГ на сумішевих паливах. Цей узагальнений критерій оптимальності відрізняється простотою і порівняно невеликим обсягом необхідних розрахунків, але не враховує викид ряду нормованих токсичних компонентів - монооксиду вуглецю CO , незгорілих вуглеводнів CHx і сажі S .

У другій методиці узагальнений критерій оптимальності J_o формується у вигляді суми приватних критеріїв, що характеризують паливну економічність J_{η_e} , викид з ВГ оксидів азоту J_{NOx} , монооксиду вуглецю J_{CO} , незгорілих вуглеводнів J_{CHx} , а також димність ВГ J_{Kx} :

$$J_o = J_{\eta_e} + J_{NOx} + J_{CO} + J_{CHx} + J_{Kx} = \frac{\eta_{eД}}{\eta_{ei}} + \frac{C_{NOxi}}{C_{NOxД}} + \frac{C_{COi}}{C_{СОД}} + \frac{C_{CHxi}}{C_{CHxД}} + \frac{K_{xi}}{K_{xД}} \quad (2)$$

де $C_{СОД}$, $C_{CHxД}$, $K_{xД}$ - концентрації моно оксиду вуглецю і вуглеводнів у ВГ дизеля, що працює на ДТ, а також димність ВГ; C_{COi} , C_{CHxi} , K_{xi} концентрації монооксиду вуглецю і вуглеводнів у ВГ дизеля, що працює на сумішевому паливі того ж складу, а також димність ВГ.

Третя методика передбачає формування узагальненого критерію оптимальності j_o у вигляді суми приватних критеріїв, аналогічний виразу (2), але вводяться високі коефіцієнти, що характеризують значимість кожного з доданків:

$$J_o = \alpha_{\eta_e} J_{\eta_e} + \alpha_{NOx} J_{NOx} + \alpha_{CO} J_{CO} + \alpha_{CHx} J_{CHx} + \alpha_{Kx} J_{Kx} = \alpha_{\eta_e} \frac{\eta_{eД}}{\eta_{ei}} + \alpha_{NOx} \frac{C_{NOxi}}{C_{NOxД}} + \alpha_{CO} \frac{C_{COi}}{C_{СОД}} + \alpha_{CHx} \frac{C_{CHxi}}{C_{CHxД}} + \alpha_{Kx} \frac{K_{xi}}{K_{xД}} \quad (3)$$

Відповідно до трьох запропонованих методик в кожній вузловій точці визначалися значення узагальнених критеріїв оптимальності з використанням виразів (1), (2) і (3) при роботі на кожному з досліджуваних палив. Потім в кожній вузловій точці визначався склад палива, при якому узагальнений критерій має мінімальне значення. Цей склад палива і приймався за оптимальний. З використанням розроблених методик оптимізації складу сумішевого біопалива та зазначених результатів експериментальних досліджень дизеля, працюючого на сумішевих біопаливах, проведені оптимізаційні розрахунки складу біопалив - сумішей ДП і МЕРО. В результаті розрахункових досліджень розраховано три базові характеристики оптимального складу біопалива, представлені на рис 2.

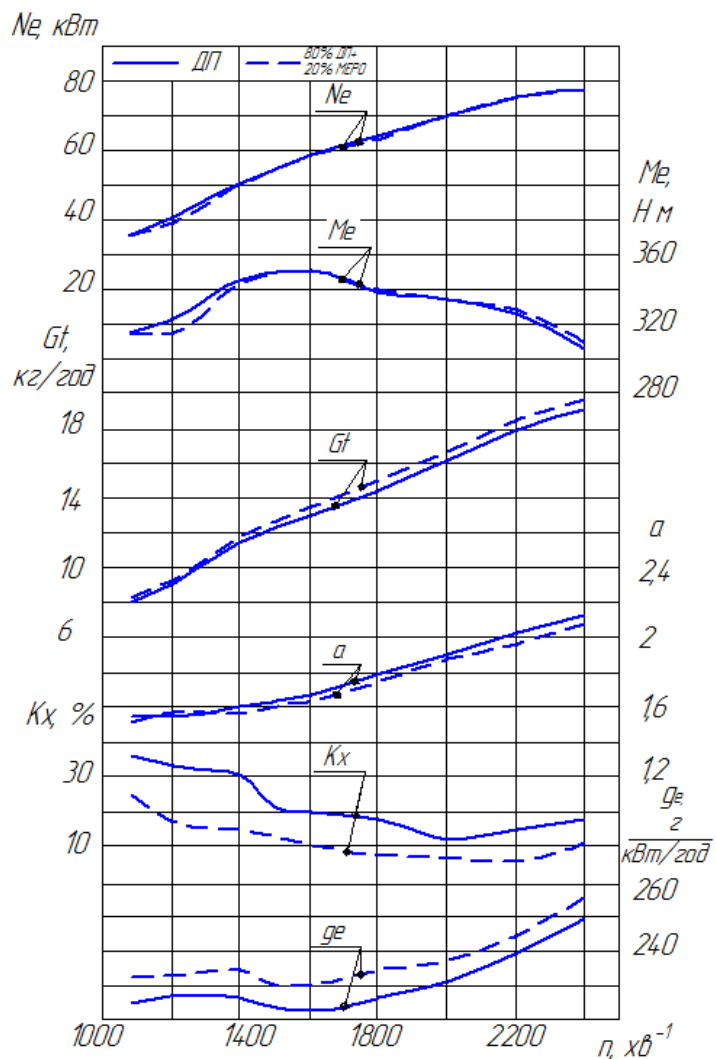


Рис. 1. Залежність ефективної потужності N_e , крутного моменту M_e , годинної витрати палива G_T , коефіцієнта надлишку повітря α , димності ВГ K_x і питомої ефективної витрати палива g_e від частоти обертання n колінчастого вала дизеля Д-240 на різних режимах при використанні різних палив

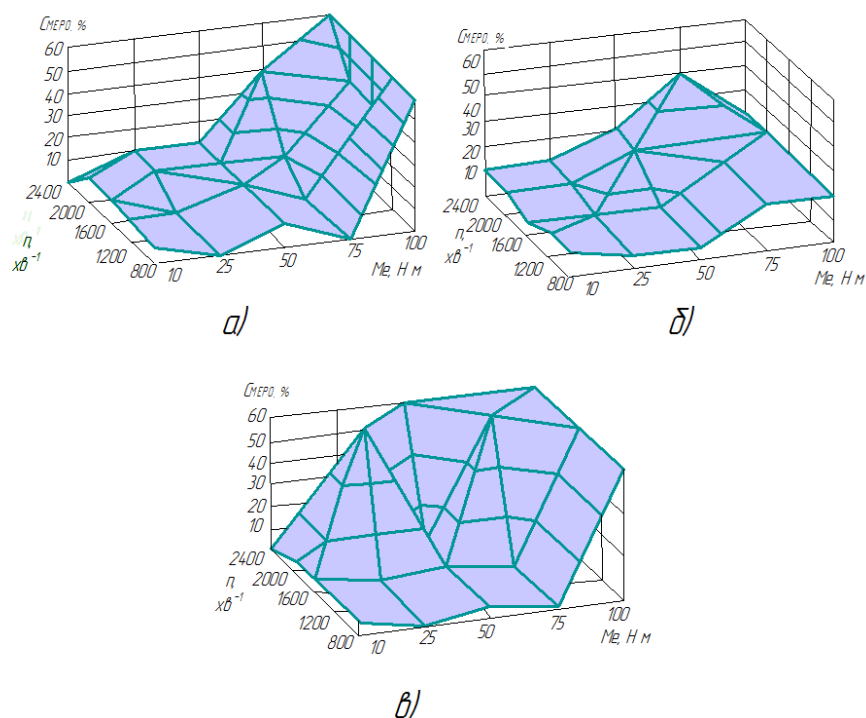


Рис. 2. Базові характеристики оптимального складу біопалива а) за критерієм 1; б) за критерієм 2; в) за критерієм 3

Таблиця 2

Показники дизельного двигуна при різних складах сумішевого біопалива і формуванні різних оптимізованих характеристик складів сумішевого біопалива

Склад суміші	e_{NOx} , г/(кВт·год)	e_{CO} , г/(кВт·год)	e_{CHx} , г/(кВт·год)	Димність ВГ, % за шкалою Хартриджа на режимах повного навантаження		g_e , г/(кВт·год)	Ефективний ККД двигуна η_e	Сумарний коефіцієнт ефективності ВГ A_{BG}
				$n = 2400$ хв ⁻¹	$n = 1500$ хв ⁻¹			
100 % ДП	7,286	2,834	0,713	18,0	21,0	245,8	0,345	245,3
95 % ДП + 5% МЕРО	6,894	2,234	0,626	18,0	17,0	249,2	0,342	204,4
90 % ДП + 10% МЕРО	6,718	2,199	0,658	13,5	16,0	253,6	0,338	194,0
80 % ДП + 20% МЕРО	6,542	2,096	0,727	11,0	13,0	256,5	0,338	164,7
60 % ДП + 40% МЕРО	7,441	2,021	0,692	10,0	7,5	261,3	0,339	116,9
40 % ДП + 60% МЕРО	7,759	1,932	0,681	7,0	8,5	265,0	0,342	128,4
Критерій № 1	7,216	2,075	0,745	7,0	7,5	257,7	0,339	116,2
Критерій № 2	6,555	2,155	0,685	11,0	13,0	255,1	0,338	164,6
Критерій № 3	6,796	2,081	0,671	7,0	7,5	256,7	0,342	113,5

Отримані значення цих коефіцієнтів свідчать про те, що серед розглянутих сумішевих біопалив найкращими екологічними характеристиками володіє суміш 60% ДП і 40% МЕРО. При роботі на цій суміші коефіцієнт агресивності ВГ виявився мінімальним: $A_{BG} = 116,9$. Це значення в два рази нижче в порівнянні з роботою на ДП ($A_{BG} = 245,3$), серед отриманих базових характеристик складу сумішевого біопалива найкращими екологічними властивостями відрізняється характеристика № 3 (рис. 2, в). При її реалізації досягається мінімальне значення сумарного умовного коефіцієнта агресивності ВГ: $A_{BG} = 113,5$ (табл. 2). Слід також відмітити, що при формуванні базової характеристики № 3 досягається поліпшення показників паливної економічності в порівнянні з роботою на суміші 60% ДП і 40% МЕРО. У першому випадку ефективний ККД η_e дорівнював 0,342, а в другому – 0,339.

Висновки

Представлені результати розрахунково-експериментальних досліджень підтверджують ефективність використання сумішевих біопалив в вітчизняних дизельних двигунах і необхідність оптимізації складу сумішевого біопалива. При цьому доцільно проводити порівняльну оцінку екологічних характеристик різних сумішевих біопалив з використанням розроблених методик. Проведені розрахунки підтвердили ефективність запропонованих методик. Для оцінки сумарною токсикологічної агресивності ВГ дизеля, що працює на різних паливах, рекомендовано використовувати сумарний умовний коефіцієнт агресивності ВГ $A_{ВГ}$.

Розрахунки показали, що найкращими екологічними характеристиками володіє суміш 60% ДТ і 40% МЕРО. При роботі дизеля типу Д-240 на цій суміші коефіцієнт агресивності ВГ виявився мінімальним: $A_{ВГ} = 116,9$. Це значення в два рази нижче в порівнянні з роботою на нафтовому ДП ($A_{ВГ} = 245,3$). Показана доцільність регулювання складу розглянутих сумішей відповідно змінам частоти обертання і навантаження на двигун. Найкращі результати отримані для базової характеристики на рис. 4, в, побудованої за методикою з використанням виразу (3).

Література

1. Самокиш М.І. Двигуни сільськогосподарських енергетичних засобів : навч. посібник для студ. інж.-техн. спец. вищ. навч. с.-г. закл. I–IV рівнів акредитації / М. І. Самокиш, М. М. Клевцов, А. М. Божок, І. М. Бендера ; за ред. М. І. Самокиша, М. М. Клевцова. – К. : Урожай, 1998. – 320 с.
2. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей / А.В. Николаенко. – М. : Колос, 1984. – 335 с., ил.
3. Сандомирський М. Г. Трактори та автомобілі. Ч. I. Автотракторні двигуни : навч. посіб. / М. Г. Сандомирський, М. Ф. Бойко, А. Т. Лебедев та ін. ; за ред. проф. А. Т. Лебедева. – К. : Вища школа, 2000. – 357 с. : іл.
4. Дикун Т.В. Аналіз ефективності використання біодизельного палива в двигунах внутрішнього зростання / Т.В. Дикун, П.І. Полянський // Нафтогазова енергетика. – 2015. – № 1 (23). – С. 86–93.
5. Яцковський В. І. Сучасні методи розрахунків ДВЗ / В. І. Яцковський, І. В. Гунько, О. В. Гуцаленко. – Вінниця, РВВ ВНАУ, 2016. – 132 с.
6. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни : підручник / Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. – К. : Арістей, 2004. – 476 с.
7. Девянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. – М. : Издательский центр ФГОУ ВПО МГАУ, 2007. – 340 с. : ил.
8. Семенов В.Г. Анализ показателей работы дизелей на нефтяных и альтернативных топливах растительного происхождения / В.Г. Семенов // Вісник НТУ "ХПІ" : збірка наукових праць. – Харків : НТУ "ХПІ", 2002. – № 3. – С. 177–197.

References

1. Samokish M.I. Engines of agricultural energy: training. tutorial for studio engineer special higher tutor s.-g. shut up I - IV levels of accreditation / M. I. Samokish, M. M. Klevtsov, A. M. Bozhok, I. Bender; for ed. M.I. Samokish, M. M. Klevtsova. - K.: Harvest, 1998. – 320 p.
2. Nikolaenko AV Theory, design and calculation of autotractor engines / AV Nikolaenko - M. : Kolos, 1984. - 335 p.
3. Sandomirskiy MG Tractors and cars. Ch.I. Motor-vehicle engines: teaching. manual / M G. Sandomirsky, M. F. Boiko, A. T. Lebedev and others; for ed. prof. A. T. Lebedev. - K. : Higher school., 2000. - 357 p.
4. Dikuun T.V., Polyansky P.I. Analysis of the efficiency of using biodiesel fuel in engines of internal growth / Oil and gas power engineering. 2015 №1 (23) .- p. 86-93.
5. Yakkovsky VI Modern methods of calculating the ICE / V. I. Yatskovsky, I. V. Gunko, O. V. Gutsalenko. - Vinnytsya, RVV VNAU, 2016.-132 p.
6. Abramchuk F.I., Gutarevich Yu.F., Dolganov K. E., Timchenko I.I. Automotive Engines: Tutorial. - K. : Ariste, 2004. - 476 pp.
7. Devyanin SN, Markov VA, Semenov VG Vegetable oils and fuel based on them for diesel engines. - Moscow: Publishing Center of State University of Agricultural Science, Moscow State University, 2007. - 340 p. II.
8. Semenov VG Analysis of performance indicators of diesel engines on petroleum and alternative fuels of vegetable origin. - The Bulletin of the NTU. "KHPT: Collection of scientific works. Kharkiv: NTU "KhPI" - 2002, No. 3. - p.177-197.

Рецензія/Peer review : 15.05.2018 р.

Надрукована/Printed :16.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією