

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Т.В. Дикун, П.І. Полянський

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (0342) 727148;
e-mail: trans@nimg.edu.ua

На сьогоднішній час дефіцит моторних палив для двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) вимагає їх удосконалення з метою зменшення витрати палива при максимальних потужностях двигунів, а також використання поряд із звичайними паливами на нафтовій основі біопалива та різних їх сумішей.

В автомобільних двигунах реакція горіння перетворює енергію нафтового палива в теплоту, а потім в механічну роботу. В результаті реакції горіння утворюються токсичні компоненти. Вони викидаються двигунами в складі відпрацьованих газів. Відпрацьовані гази доповнюються побічними продуктами горіння, які є в паливах нафтового походження або в присадках до енергоносіїв і олів. Частково ця проблема вирішується шляхом використання біопалив, які згорають краще, і в продуктах їхнього згорання міститься менше шкідливих речовин.

В статті пропонуються аналітичні дослідження основних техніко-експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна D21A1 на дизельному біопаливі та його сумішах з дизельним паливом.

Зроблено висновки та проведено аналіз отриманих результатів для подальших лабораторних та експлуатаційних досліджень.

Ключові слова: біопаливо, біодизельне паливо, суміш, дослідження, ефективна потужність, крутний момент, питома ефективна витрата палива, годинна витрата палива, техніко-експлуатаційні показники, аналітичні розрахунки.

В настоящее время дефицит моторного топлива для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) требует усовершенствования с целью уменьшения расхода топлива при максимальных мощностях двигателей, а также использование наряду с обычными топливами на нефтяной основе биотоплива и различных их смесей.

В автомобильных двигателях реакция горения превращает энергию нефтяного топлива в теплоту, а затем в механическую работу. В результате реакции горения образуются токсичные компоненты. Они выбрасываются двигателями в составе отработанных газов. Отработанные газы дополняются побочными продуктами горения из топлив нефтяного происхождения или в присадках к энергоносителям и маслам. Частично эта проблема решается путем использования биотоплив, которые сгорают лучше, и в продуктах сгорания которых содержится меньше вредных веществ.

В статье предлагаются аналитические исследования основных технико-эксплуатационных показателей работы дизельного двигателя D21A1 на дизельном биотопливе и его смесях с дизельным топливом.

Сделанные выводы и анализ полученных результатов для дальнейших лабораторных и эксплуатационных исследований.

Ключевые слова: биотопливо, биодизель, смесь, исследования, эффективная мощность, крутящий момент, удельный эффективный расход топлива, часовой расход топлива, технико-эксплуатационные показатели, аналитические расчеты.

At present shortage of motor fuels for internal combustion engines (ICE) requires their improvement in order to reduce fuel consumption at maximum engine power and use biofuels and their various mixtures along with conventional petroleum-based fuels.

Combustion reaction in automobile engines converts oil-based fuel energy into heat and then into mechanical work. Different toxic components are formed as a result of combustion reaction. Engines emit them as a part of exhaust gases. Exhaust gases are complemented by the combustion by-products, which are included in the oil-based fuels or energy sources additives and oils. This problem can be partially solved by using biofuels that burn better and their combustion products contain less harmful substances.

The article deals with analytical studies of the basic technical and operational characteristics of the diesel engine D21A1 operation on biodiesel and its mixtures with diesel fuel.

Conclusions and analysis of the obtained results were carried out for further laboratory and operational research.

Keywords: biofuels, biodiesel, mixture, research, effective power, torque, specific efficient fuel consumption, hourly fuel consumption, technical and operational characteristics, analytical calculations.

Вступ. Швидкі темпи розвитку науки і техніки вимагали від людства винайдення якісного палива, яке належним чином забезпечувало б роботу нових механізмів. При цьому, як не дивно, спочатку більш перспективним здавалося саме біопаливо, яке використовували багато відомих винахідників і промисловців, і тільки низькі ціни на нафту витіснили його. Постійне збільшення кількості рухомого складу автомобільного транспорту призводить до під-

вищення об'ємів споживання палива. Оскільки запаси нафти є вичерпними то гостро постає проблема заміни нафтового палива на альтернативні, одними з яких є біопалива. На сьогодні розроблено безліч методів зниження витрати палива і забруднення атмосфери викидами автомобільних двигунів. Перед світовою автомобільною промисловістю постало завдання, розробки та налагодження випуску нових екологічно вигідних і екологічно чистих палив.

Аналіз сучасних закордонних та вітчизняних досліджень. В США проводились дослідження щодо використання як палива 100% метилового ефіру соєвої олії (біодизель), сумішей із 20% такого біодизелю і 80% нафтового дизпалива; 35% метилового ефіру соєвої олії і 65% нафтового дизпалива; 65% метилового ефіру соєвої олії і 35% нафтового дизпалива. Паливо із 20% добавки метилового ефіру соєвої олії прийнято в США як альтернативне паливо. За даними АРІ при збільшенні такої добавки в паливі від 20% до 100% витрата палива зменшується на 3,9%.

За прогнозами спеціалістів, найближчим майбутнім передбачається покриття до 10% світових потреб у дизельному пальному за рахунок рослинного рідкого палива. Метиліві ефіри використовуються як чисте паливо в Німеччині, Австрії і як 30, 20 і 5% суміші з дизельним паливом у Франції, Швеції, США, Чехії та інших країнах. При цьому, наприклад у США, планується випускати щорічно близько 20 млн. т. рідкого біопалива.

Висвітлення невирішених проблем використання біопалива. Проблема використання біодизельного палива та його сумішей є не вирішеною і має багато позитивних та негативних аспектів. Деякі автовиробники залишаються обережними в питанні використання біодизелю. Багато виробників у Великобританії надають гарантію підтримку на двигуни лише за умови використання не більш як 5% біодизелю, змішаного з 95% стандартного дизельного пального. Ця позиція вважається занадто обережною. Відповідно до норм "Пежо" та "Сітроен", дизельні двигуни можуть працювати на 30% біодизелю. "Сканія" та "Фольксваген" мають інші норми, які дозволяють використовувати 100% біодизелю для більшості їхніх двигунів. Багато автовиробників дуже позитивно налаштовані щодо використання біодизелю, наводячи нижчий рівень зношення двигуна як одну з переваг цього пального. Однак при переході від звичайного дизельного пального до біодизелю, можливо знадобиться заміна паливного фільтра. Більшість виробників надають перелік автомобілів, які працюватимуть на 100% біодизелі. Проте перед використанням біодизелю доцільно проконсультуватись з автовиробником.

Мета статті – встановити переваги та недоліки використання дизельного біопалива, проаналізувати техніко-експлуатаційні показники роботи дизельного двигуна на біопаливі та його сумішах з дизельним паливом.

Основний матеріал. Біопаливо-це паливо, яке отримують, як правило, з біологічної сировини (стебла цукрової тростини або насіння ріпаку, кукурудзи, сої). Можуть також використовуватися целюлоза і різні типи органічних відходів. Біопаливо поділяють на тверде (дрова, солома), рідке (етанол, метанол, біодизель), і газоподібне (біогаз, водень). Для двигунів вну-

трішнього згорання використовують рідке та газоподібне біопаливо.

Рідке паливо вважається кращим за газоподібне не тільки через більш об'ємну теплоту згорання, але й тому, що воно є найбільш сумісним з існуючими системами живлення в двигунах.

Біодизель-паливо на основі жирів тваринного, рослинного і мікробного походження, а також продуктів їх етерифікації. Для отримання біодизельного палива використовуються рослинні та тваринні жири. Сировиною можуть бути рапсове, соєве, пальмове, кокосове масло, або будь-яке інше масло-сирець, а також відходи харчової промисловості. Розробляються технології виробництва біодизеля з водоростей.

Біодизель може використовуватись самостійно або в суміші зі звичайним дизельним паливом. Для позначення палива, що містить біодизель, застосовується літера «В»: В100 — 100 % біодизелю; В20 — 20 % біодизелю і 80 % звичайного (нафтового) дизельного пального.

Фізико-хімічні показники біодизельного та дизельного палив наведені в табл. 1.

Вкажемо на переваги біологічного дизельного палива, порівняно з дизельним паливом із нафти:

- міжремонтний термін експлуатації двигуна, що працює на біодизелі, збільшується приблизно на 50%;
- вищий показник змащувальної здатності біодизелю порівняно зі звичайним дизельним паливом — перевага, що сприяє тривалішому «життю» форсунок та ПНВТ;
- цетанове число біодизелю становить 51 (мінерального дизпалива - близько 45), що покращує швидкість запуску двигуна;
- висока температура спалахування робить біодизель одним з найбільш пожегобезпечних видів палива;
- кількість викидів шкідливих сполук і твердих часток при роботі двигуна на біодизелі зменшується на 20-25%, чадного газу - на 10-12%, ніж при роботі на мінеральному дизельному паливі;
- біодизель не має неприємного бензолінового запаху, а викиди автомобіля, що працює на ньому, пахнуть смаженим насінням;
- біодизель відноситься до екологічних видів палива, тож вуглекислого газу в викидах двигунів рівно стільки, скільки споживається із атмосфери рослинами, з яких отримується олія. Так, один гектар ріпаку може поглинати до 20 т вуглекислого газу за сезон;
- біодизель, потрапляючи в довкілля, дуже швидко піддається біологічному розкладанню. Так, один літр мінерального палива може забруднити 10⁶ л питної води і привести до забелі водної флори і фауни, тоді як біодизель при потраплянні в воду не наносить шкоди ні рослинам, ні тваринам;
- біодизель піддається практично повному біологічному розпаду: в ґрунті чи в воді мікроорганізми протягом 21 дня на 90% переробляють біодизель, протягом 28 днів — на 99%;

Таблиця 1 – Фізико-хімічні показники біодизельного та дизельного палив

Показники	Європейський стандарт на біодизель EN 14214:2003			Стандарт України на дизельне паливо ДСТУ 3868-99		
	Розмірність	межі		Розмірність	Значення для марок	
		min	max		Л	З
Вміст ефірів	%	96,5	-	-	-	-
Густина за температури 15°C	кг/м ³	860	900	за температури 20°C, кг/м ³	860	840
Кінематична в'язкість за температури 40°C	мм ² /с	3,5	5,0	за температури 20°C, кг/м ³	3,0-6,0	1,8-6,0
Температура спалахування	°C	120	-	°C	40-62	35-40
Вміст сірки	мг/кг	-	10,0	%	0,05-0,20	0,05-0,20
Коксівність 10% залишку	%	-	0,30	%	0,30	0,30
Цетанове число	-	51	-	-	45	45
Зольність	%	-	0,02	%	0,01	0,01
Вміст води	мг/кг	-	500	-	-	-

Таблиця 2 – Відсотковий вміст елементів у дизельному паливі, дизельному біопаливі та їх сумішах

Тип палива	Дизельне паливо (літне)	Дизельне паливо + 25% біопалива	Дизельне паливо + 75% біопалива	Дизельне біопаливо
С, %	87	84,675	80,025	77,3
Н, %	12,6	12,525	12,375	12,3
О, %	0,4	2,8	7,6	10

– при роботі двигунів на біодизелі значно зменшується об'єм шкідливих викидів інших продуктів згорання, в тому числі сірки — на 98%, сажі — від 50 до 61%, гідрокарбонатів та вуглекислих монооксидів – на 30–34%.

Основними недоліками біодизельного палива є:

– залишковий метанол в біопаливі, якого згідно зі стандартом в паливі повинно бути не більше 0,2%, є потужним розчинником викликає не лише розбухання гумових деталей, а й розчиняє забруднення в паливній системі;

– при використанні звичайного дизельного палива у двигуні та паливних трубках утворюється наліт, а при переході на використання біодизелю цей наліт руйнується, засмічує паливні фільтри та інжектори, тому при пробігу 1000–1500 км з моменту переходу на біодизель рекомендується заміна паливних фільтрів;

– зберігати біодизель понад три місяців не рекомендується, оскільки він розкладається.

Аналітичні розрахунки техніко-експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна Д21А1 проводимо при його роботі на дизельному паливі, дизельному біопаливі та суміші дизельного палива з 25% та 75% біодизеля.

Склад дизельного палива, біодизельного палива і їх сумішей наведено в табл. 2.

Як відомо, для згорання палива необхідна певна теоретична кількість повітря, яка залежить від складу палива. Для процесу горіння використовується кисень, вміст якого в повітрі

становить 23,2% мас. Для рідкого палива кількість кисню визначається за формулою:

$$L_0 = (2,67C + 8H + S - O) / 23,2, \text{ кг}_{\text{пов.}} / \text{кг}_{\text{пал.}}$$

де С, Н, S, O - вміст у паливі відповідних елементів, % мас.

З урахуванням густини повітря:

$$L_0' = L_0 / \rho_0, \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

При роботі дизельного двигуна в циліндри потрапляє більша кількість повітря за теоретично необхідну, що оцінюється коефіцієнтом надлишку повітря.

Коефіцієнт надлишку повітря α -відношення дійсної кількості повітря, яка потрапила в циліндри двигуна, до теоретичної необхідної кількості повітря:

$$\alpha = \frac{L_d}{L_0}$$

Щоб визначити теплоту згорання за формулами, треба знати елементарний склад палива, а це в повсякденній виробничій практиці не завжди можливо. Тому теплоту згорання палива частіше визначають дослідним способом. Для цього рідке паливо спалюють в заповненому киснем сталевому резервуарі калориметра. Визначивши підвищення температури води в калориметрі і знаючи певну масу палива, знаходять його теплоту згорання.

Якщо відомий елементарний склад палива, тоді теплоту згорання рідкого і твердого палива визначають за формулою Менделєєва:

Таблиця 3 – Нижча теплота згорання та теоретична кількість повітря різних типів палива

Тип палива	Дизельне паливо (літне)	Дизельне паливо + 25% біопалива	Дизельне паливо + 75% біопалива	Дизельне біопаливо
L_0 , кг _{пов.} /кг _{пал.}	14,452	14,052	13,252	12,852
Різниця, %	-	2,8	8,3	11,1
Нижча теплота згорання Q_H , кДж/кг	42437,4	41310,375	39056,325	37929,3
Різниця ΔQ_H , %	-	2,7	8,0	10,6

- вищу: $Q_b = 339C + 1256H - 109(O - S)$;
 - нижчу: $Q_H = Q_b - 25,12(9H + W)$, МДж/кг,

де W – вміст вологи в паливі, % мас.

Нижча теплота згорання та теоретична кількість повітря різних типів палива наведена в таблиці 3.

Як бачимо з аналітичних розрахунків, енергетичні властивості рідкого біопалива та його сумішей відрізняються від традиційного ДП: температура згорання нижча; вміст кисню в біодизелі дозволяє знизити подачу повітря тому, при однаковій подачі повітря, будь-який коефіцієнт надлишку повітря за рахунок вмісту кисню в паливі є вищим.

Основними техніко-експлуатаційними показниками автомобільних двигунів є ефективна потужність N_e , крутний момент M_k , питома ефективна витрата палива g_e та годинна витрата палива G_T .

Ефективна потужність-це потужність двигуна, що віддається робочій машині безпосередньо або через силову передачу. Вона визначається:

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_h \cdot n \cdot i}{30\tau}, \text{ кВт},$$

де P_e – ефективний тиск в циліндрі двигуна, Па;

V_h – робочий об'єм двигуна, м³;

n – оберти колінчастого вала двигуна, хв⁻¹;

i – кількість циліндрів;

τ – тактність двигуна.

Крутний момент двигуна:

$$M_k = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot N_e}{\tau \cdot n}, \text{ Нм},$$

Питома ефективна витрата палива:

$$g_e = \frac{3600}{Q_H \cdot \eta_e}, \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{год}},$$

де η_e – ефективний ККД двигуна.

Годинна витрата палива:

$$G_T = N_e \cdot g_e, \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

В результаті аналітичних досліджень отримано значення зміни потужності двигуна N_e , крутного моменту M_k , питомої ефективної витрати палива g_e , годинної витрати палива G_T від частоти обертання колінчастого вала двигуна n . Результати аналітичних розрахунків техніко-експлуатаційних показників двигуна Д21А1 занесені в табл.4.

На основі отриманого масиву даних побудовано графічні залежності техніко-експлуатаційних характеристик двигуна (рис.1-4).

Аналіз отриманих параметрів свідчить, що у разі використанні дизельного біопалива та його сумішей потужність та крутний момент двигуна залишилися майже на такому ж рівні, як і при використанні чистого дизельного палива.

Максимальне збільшення цих показників не перевищує 1% при використанні чистого біодизельного палива.

Годинна витрата палива двигуном у режимі максимальної потужності у випадку використання чистого біопалива склала 5,508 кг/год, суміші ДП+25%-5,038 кг/год, суміші ДП+75%-5,342 кг/год, чистого ДП-4,898 кг/год, тобто вона зростає. При використанні чистого біопалива витрата палива збільшилась приблизно на 12,5%. Питома ефективна витрата палива у цих режимах склала у разі використання чистого біопалива 295,661 г/(кВтгод), суміші ДП+25%-271,578 г/(кВтгод), суміші ДП+75%-287,183 г/(кВтгод), чистого ДП-264,397 г/(кВтгод).

Висновки

Аналітичні розрахунки показують, що використання чистого біодизельного палива та його сумішей з дизельним паливом суттєво не впливають на потужність та крутний момент, що розвиває двигун, проте перехід на біопаливо та його суміші призведе до зростання годинної витрати палива приблизно на 12,5% та відповідно питомої ефективної витрати палива.

Збільшену витрату палива необхідно враховувати при плануванні роботи рухомого складу АТП. Використання біодизельного палива дає можливість значно скоротити вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах: сірки — на 98%, сажі — від 50 до 61%, гідрокарбонатів — та вуглекислих монооксидів – на 30–34%. Міжремонтний інтервал зростає на 50%. Має місце ускладнений запуск двигуна, який виникає при температурі нижче + 5°С, що потребує в зимових умовах застосування додаткового підігріву паливної системи дизельних двигунів.

Таблиця 4 – Техніко-експлуатаційні показники двигуна Д21А1 при роботі на біопаливі та його сумішей з дизельним паливом

Тип палива	Оберти колінчастого валу, об/хв	Потужність, кВт	Крутний момент, Нм	Питома витрата палива, г/(кВт год)	Годинна витрата палива, кг/год
Дизельне паливо	800	9,673	115,459	279,902	2,707
	900	10,977	116,472	271,007	2,975
	1000	12,239	116,879	263,744	3,228
	1100	13,440	116,678	258,114	3,469
	1200	14,541	115,871	254,115	3,700
	1300	15,582	114,458	251,748	3,923
	1400	16,484	112,437	251,014	4,138
	1500	17,249	109,810	251,912	4,345
	1600	17,857	106,576	254,441	4,544
	1700	18,289	102,736	258,603	4,730
	1800	18,527	98,289	264,397	4,898
Дизельне паливо + 25% біодизеля	800	9,685	115,606	287,503	2,784
	900	10,991	116,62	278,367	3,06
	1000	12,255	117,027	270,907	3,32
	1100	13,457	116,827	265,123	3,568
	1200	14,579	116,019	261,016	3,805
	1300	15,602	114,603	258,585	4,034
	1400	16,505	112,58	257,831	4,256
	1500	17,271	109,95	258,753	4,469
	1600	17,88	106,712	261,352	4,673
	1700	18,313	102,867	265,626	4,864
	1800	18,551	98,414	271,578	5,038
Дизельне паливо + 75% біодизеля	800	9,712	115,927	304,014	2,953
	900	11,022	116,945	294,353	3,244
	1000	12,289	117,353	286,464	3,52
	1100	13,495	117,152	280,349	3,783
	1200	14,62	116,342	276,006	4,035
	1300	15,645	114,922	273,435	4,278
	1400	16,551	112,894	272,637	4,512
	1500	17,319	110,256	273,612	4,739
	1600	17,93	107,009	276,36	4,955
	1700	18,364	103,153	280,88	5,158
	1800	18,602	98,687	287,173	5,342
Біодизельне паливо	800	9,727	116,104	313,000	3,044
	900	11,039	117,122	303,053	3,345
	1000	12,308	117,531	294,941	3,630
	1100	13,515	117,330	288,635	3,901
	1200	14,642	116,518	284,164	4,161
	1300	15,669	115,097	281,517	4,411
	1400	16,576	113,065	280,696	4,653
	1500	17,345	110,424	281,700	4,886
	1600	17,957	107,172	284,529	5,109
	1700	18,392	103,310	289,182	5,319
	1800	18,630	98,838	295,661	5,508

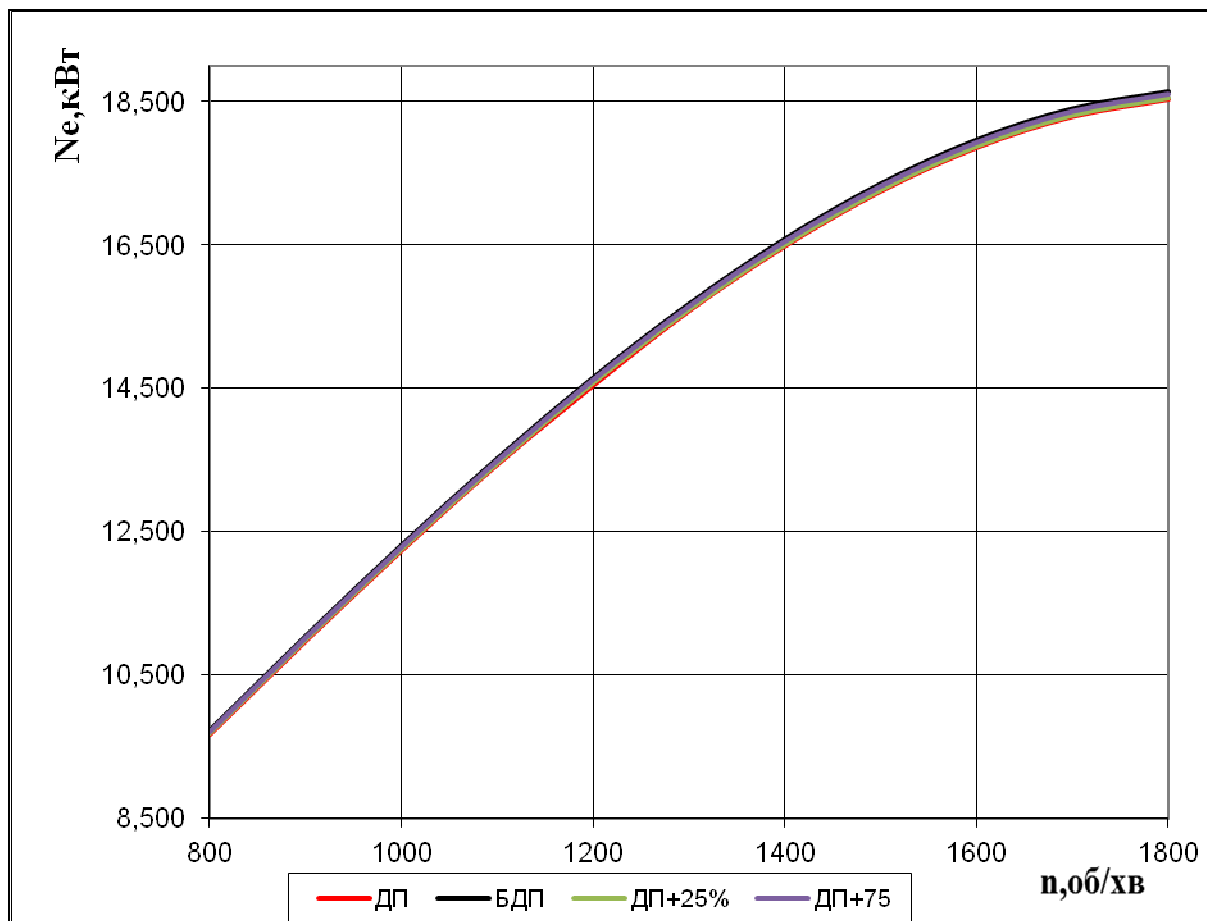


Рисунок 1 – Залежність потужності двигуна від частоти обертання

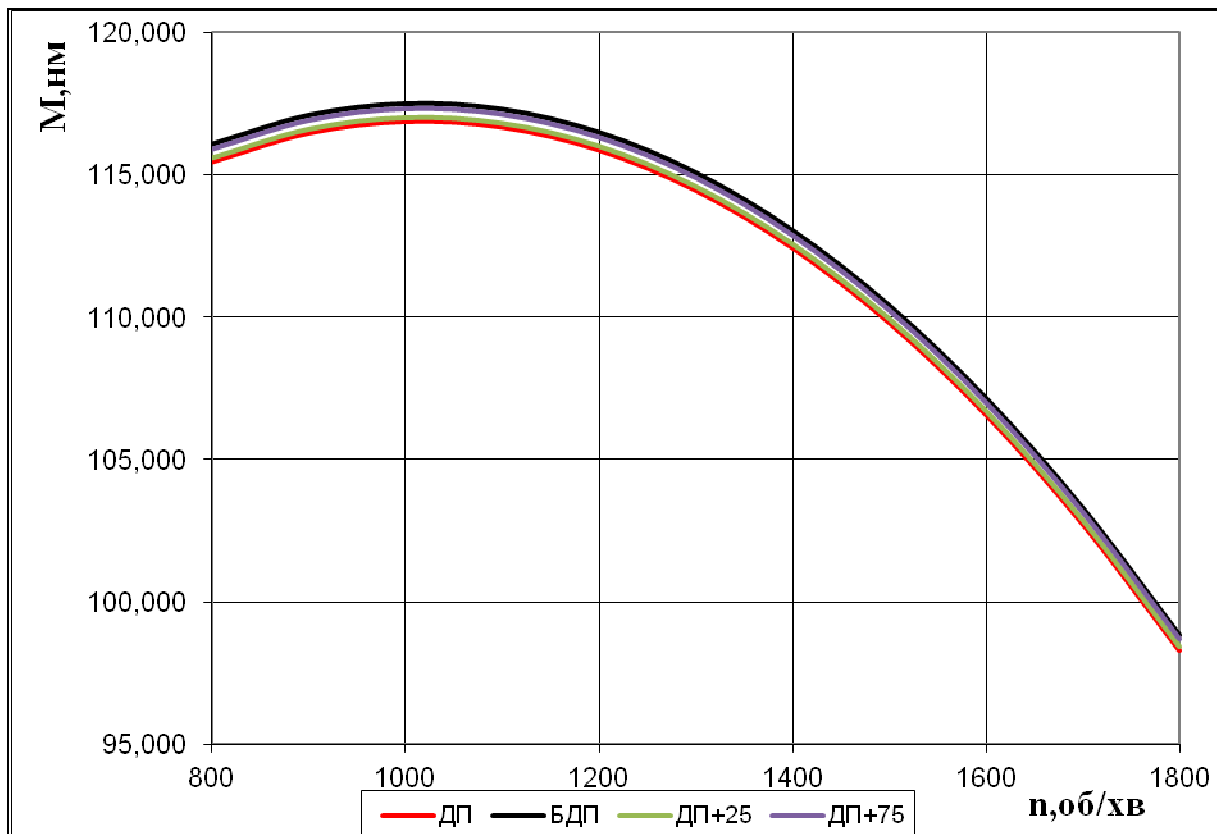


Рисунок 2 – Залежність крутного моменту двигуна від частоти обертання

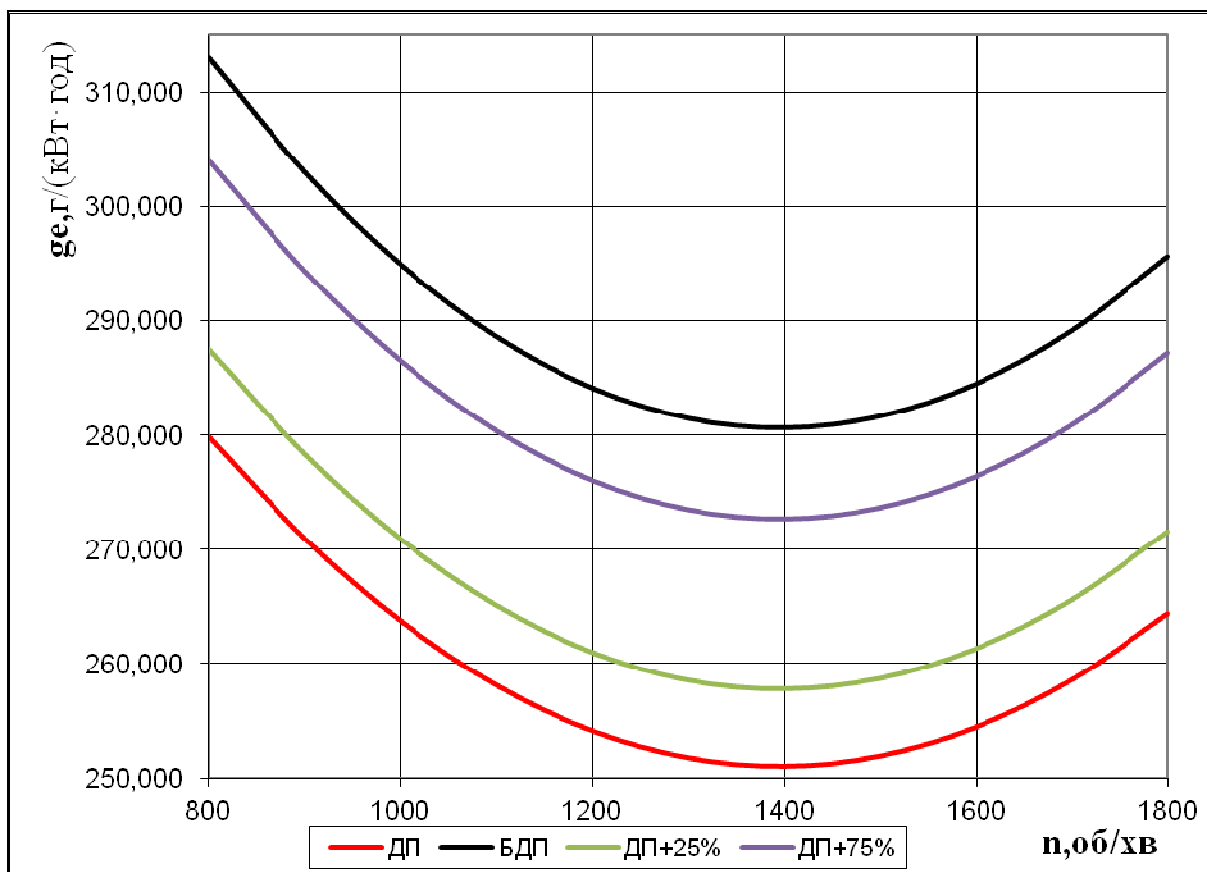


Рисунок 3 – Залежність питомої ефективної витрати палива двигуна від частоти обертання

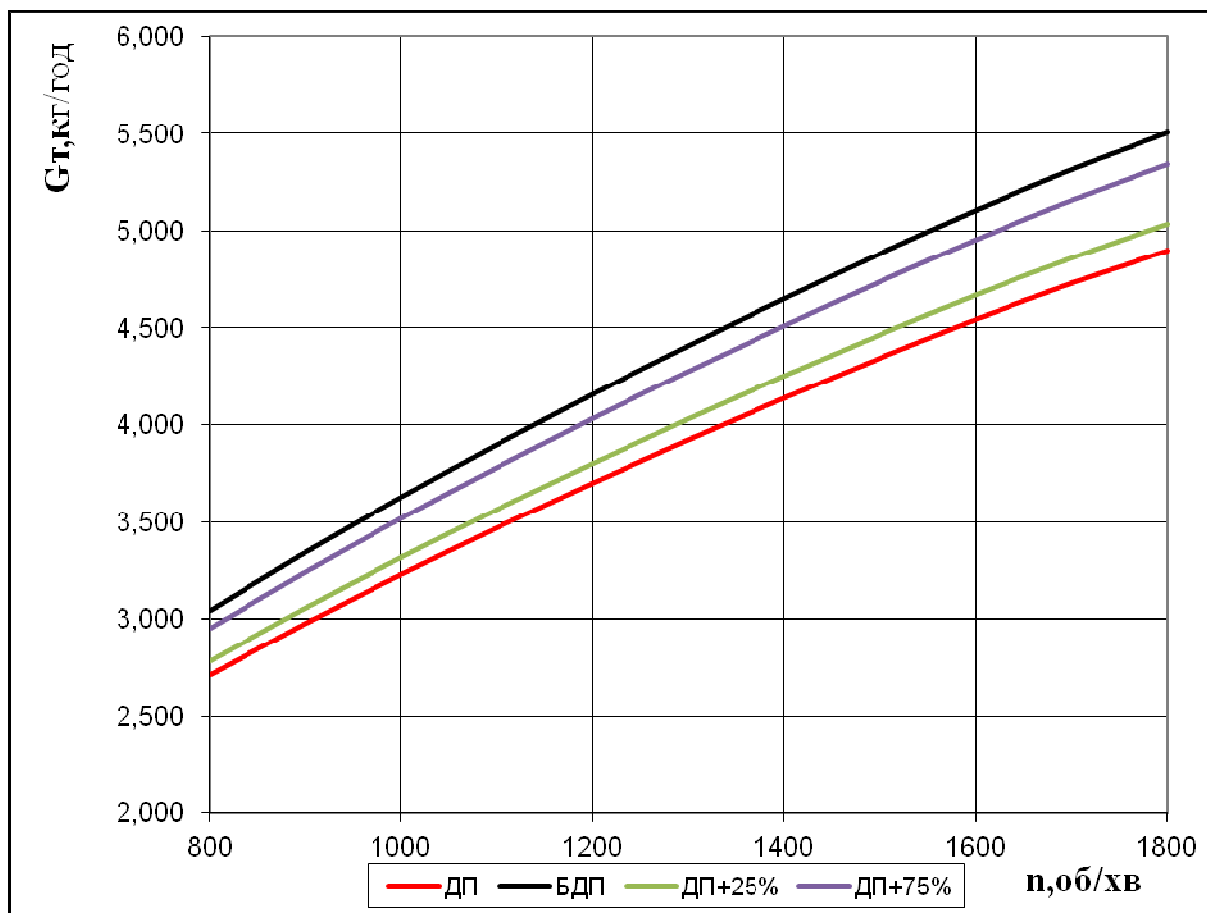


Рисунок 4 – Залежність годинної витрати палива двигуна від частоти обертання

Література

1 Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / Колчин А.И., В.П. Демидов. – М.: Высшая школа, 1980. – 400 с.

2 ДСТУ 3868-98. Паливо дизельне. Технічні умови.

3 Войтов В. Техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів з використанням біодизеля / В.Войтов, М.Карнаух, М. Даценко // Техніка і технології АПК. – 2009. – № 1 – С. 13-17.

4 Захарчук В.І. Применение альтернативных топлив в автотракторных дизелях / В.І.Захарчук // Энергосбережение. – 2010. – № 2. – С. 26-28.

5 Девянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н.Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов – Х.: Новое слово, 2007. – 452 с.

6 Гутаревич Ю.Ф. Екологія автомобільного транспорту : навчальний посібник / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун, А.О. Корпач, Л.П. Мержисівська. – К.: Основа, 2002. – 312 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
02.04.15*

*Рекомендована до друку
професором **Петриною Ю.Д.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
канд. техн. наук **Пилипченком О.В.**
(ТзОВ Міжгалузевий науково-виробничий
центр «Епсілон лтд», м. Івано-Франківськ)*