

АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КАРБЮРАТОРНИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ В ПІРСЬКИХ УМОВАХ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОЕТАНОЛУ

Т. В. Дикун, Л. І. Гаєва, С. Р. Шикор

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422)

e-mail: admin@iung.edu.ua

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

В автомобільних двигунах реакція горіння перетворює енергію нафтового палива на 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 згоряння міститься менше шкідливих речовин.

В статті пропонуються аналітичні дослідження основних техніко-експлуатаційних показників роботи карбюраторного двигуна ЗМЗ-513.10 на біоетанолі та його сумішах з бензиновим паливом.

Зроблено висновки та проаналізовано отримані результати для подальших лабораторних та експлуатаційних досліджень.

Ключові слова: біопаливо, біоетанольне 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 их усовершенствование 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 масам. 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 ЗМЗ-513.10 на дизельном биотопливе и его смесях с бензиновым топливом.

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

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

Nowadays, the deficit of motor fuels for internal combustion engines (ICE) requires their improvement to reduce fuel consumption at the maximum engine power and use along with conventional petroleum-based fuels to biofuels and various mixtures.

In motor engines combustion reaction converts fuel oil energy into heat and then into mechanical work. Toxic components form as a result of combustion. They escape as exhaust gases. Exhaust gases are complemented with combustion by-products, present in oil-based fuels or additives used for energy carriers and oils. This problem can be partially solved using biofuels that burn better and their combustion products contain less harmful substances.

The article offers analytical study of basic technical performance of bioethanol carburetor combustion engine ZMZ-513.10 and its mixtures with gasoline fuel.

The obtained results analysis for further laboratory and field investigations was conducted.

Keywords: biofuel, bioethanol fuel, mixture, study, effective power, torque, specific fuel efficient, hour fuel consumption, technical performance, 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 підвищення 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 ав-

томобільних двигунів. Перед світовою автомобілебудівною промисловістю постало завдання, розроблення та налагодження випуску нових економічно вигідних і екологічно чистих палив.

Аналіз сучасних закордонних та вітчизняних досліджень. Світовими лідерами з використання рідкого біопалива є три країни: Бразилія, США і ЄС. Щоб не залежати від імпорту нафти, Бразилія використовує етанол з дешевої цукрової тростини. У США, щоб підтримати аграрний сектор усередині країни, та, одночасно, поліпшити стан навколишнього середовища – поширюється етанол з кукурудзи.

Європейський Союз, впроваджуючи біопаливні технології, переслідує відразу кілька цілей: ліквідація залежності від імпорту нафти, запобігання глобальному потеплінню, виконання зобов'язань за Кіотським протоколом щодо викидів діоксиду вуглецю в атмосферу, а також розвиток аграрного сектора.

Провідними країнами з видобутку біоетанолу в ЄС являються Німеччина, Іспанія, Франція, Швеція, Італія, Польща (станом на 2004–2006 роки). На вимогу європейського співтовариства до 2020 року 20% вмісту кожного бензобака повинен становити спирт.

Прийняття аналізу робочого циклу карбюраторного двигуна, працюючого в високогірних умовах досліджується в роботах А. П. Муслінова (Киргизька Республіка), В. А. Орлова, В. І. Глазунова (Львів). Оцінку ефективності додавання спиртових сполук до бензинів досліджував доктор технічних наук, професор Гутаревич (м. Київ НТУ). Але питання аналізу техніко-експлуатаційних показників роботи карбюраторних двигунів в гірських умовах при використанні біоетанолу розглянуто не повністю.

Мета статті – встановити переваги та недоліки використання біоетанолу та їх сумішей з бензином, проаналізувати техніко-експлуатаційні показники роботи бензинового двигуна на етанолі та їх сумішей з бензином в гірських умовах.

Проаналізувавши зміну техніко-експлуатаційних показників роботи карбюраторних двигунів в гірських умовах при роботі на сумішах біоетанолу з стандартним бензином.

Основний матеріал. Біопаливо – це паливо, яке отримують, як правило, з біологічної сировини (стебла цукрової тростини, картоплі, пшениці, топінамбуру, кукурудзи). 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 внутрішнього 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.

Біоетанол може використовуватись самостійно або в суміші зі звичайним бензином. Для позначення палива, що містить біоетанол, застосовується літера «Е» від англійського Ethanol. Порівняльні характеристики етанолу і бензину наведені в табл. 1.

Важливою перевагою двигунів, які працюють на біоетанолі, є їх антидетонаційна стійкість (детонація – латинське *detonate* – гриміти) – поширення полум'я з великою швидкістю, близькою до швидкості звука в даному середовищі. Підсумовуючи сказане можна, зробити такі висновки.

Суттєве підвищення якості роботи двигуна при використанні біоетанольного моторного палива досягається за рахунок знайденого підвищувача тиску насичених парів - вуглеводневої фракції (п.к. - 60°C) - алканів C₄-C₆, використання яких дозволяє підвищити ефективність роботи двигуна. Багатофункціональність дії біоетанольного моторного палива ґрунтується на наступних принципах:

1) максимальна енергетична дія палива при оптимальному вмісті складових сполук досягнута за рахунок синергетичного посилення їх дії проміжними органічними сполуками класу органічних амінів та їх похідних;

2) стабілізуюча дія біоетанольного моторного палива досягається на принципі стабілізації бензино-етанольних сумішей органічними сполуками класу спиртів і амінів, що займають проміжне положення в ряді полярностей Лео-Ганча між полярностями спирту і аліфатичних вуглеводнів, що входять до складу бензину;

3) висока ефективність і низька вартість біоетанольного моторного палива забезпечує максимальну рентабельність при виробництві екологічно чистих палив;

4) пари етанолу розсіюються швидше, ніж пари бензину;

5) етанол менш токсичний, ніж бензин, не містить канцерогенних речовин;

6) пара етанолу менш вогнебезпечна, ніж пари бензину, через більш високу температуру самозаймання;

7) октанові числа етанолу вищі, ніж бензину.

Аналітичні розрахунки техніко-експлуатаційних показників роботи бензинового двигуна ЗМЗ 313.10 проводимо при його роботі на бензиновому паливі, біоетанолі та суміші бензинового палива з 25% та 75% біоетанолу. Склад бензинового палива, біоетанолу і їх сумішей наведено в табл. 2.

Аналіз сучасних закордонних та вітчизняних досліджень показує, що існує така залежність між зміною атмосферного тиску та температури із висотою над рівнем моря табл. 3.

Дослідити вплив окремих параметрів навколишнього середовища (атмосферний тиск, температура навколишнього середовища, вологість повітря та ін.) у гірських районах на роботу двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), основні динамічні, техніко-експлуатаційні та екологічні показники важко. Всі ці параметри впливають на роботу ДВЗ по-різному, а тому виникає необхідність провести аналітичні роз-

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики етанолу і бензину

Показник	Базовий бензин	Етиловий спирт
Хімічна формула	C ₅ -C ₈	C ₂ H ₅ OH
Молекулярна маса, г/моль	100-105	46,04
Елемент, мас. %:		
карбон	85-88	52,2
гідроген	12-15	13,2
кисисген	0	34,78
Густина при 20°C, кг/м ³	725-780	789,3
Температура кипіння, °C	35-205	78,4
Температура застигання, °C	-40	-114,1
Теплота, кДж/кг:		
випаровування	180-306	839,3
згорання	43500	26945
Тиск насичених парів при 38°C, кПа	≤79,9	15,9
В'язкість, мм ² /с (при 20°C)	0,37-0,44	1,19
Електропровідність, ом/см ²	1·10 ⁻¹⁴	1,35·10 ⁻⁹
Температура самозаймання, °C	257-300	423
Межі займистості, об. %:		
нижня	1,4	4,3
верхня	7,6	19,0
Крапка іскри, °C	-43	13
Стехіометричне відношення – повітря : паливо	(14,7-15,5):1	9,0
Розчинність у воді при 20 °C, %	нерозчинний	необмежено
Октанове число:		
за дослідницьким методом	92-98	108
за моторним методом	82-87	92

Таблиця 2 – Хімічний склад бензину, біоетанолу і їх сумішей

Паливо	Елементний склад, мас. частки		
	C	H	O
Бензин	0,855	0,145	0
75% бензину + 25% етанолу	0,772	0,141	0,087
25% бензину + 75% етанолу	0,605	0,134	0,261
Етанол	0,522	0,130	0,348

Таблиця 3 – Основні показники доквілля залежно від висоти над рівнем моря

Поз.	Висота, м	Атмосферний тиск, кПа	Температура, °C
1	0	101,3	20
2	1000	89,9	13,5
3	2000	79,5	7
4	3000	70,1	0,5

рахунки з метою виявлення величини цього впливу та напрямку зміни основних динамічних, техніко-експлуатаційних та екологічних показників роботи автомобілів у гірських умовах на біоетанольному паливі.

Як відомо, для згорання палива необхідна певна теоретична кількість повітря, яка залежить від складу палива. Для рідкого палива кількість кисню визначається за формулою:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left[\left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} \right) - \frac{O}{32} \right], \frac{\text{кмоль} - \text{пов}}{\text{кг} - \text{пал}};$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right), \frac{\text{кг} - \text{пов}}{\text{кг} - \text{пал}},$$

де C, H, S, O – вміст у паливі відповідних елементів, % мас.

Густина свіжого заряду на впуску:

$$\rho_0 = \frac{P_0 \cdot 10^6}{R \cdot T_0}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

де P₀ – атмосферний тиск на певній висоті, МПа

R – газова стала повітря. R=287,2 Дж/(кг·К)

T₀ – температура повітря на певній висоті, К.

Коефіцієнт залишкових газів:

$$\gamma = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{P_r}{\varepsilon \cdot \phi_{\text{дз}} \cdot P_a - \phi_{\text{оч}} \cdot P_r},$$

де ΔT – підігрів заряду, який залежить, як правило, від взаємного розташування впускного і випускного колекторів;

P_r – тиск залишкових газів в камері згорання;

T_r – температура залишкових газів в камері згорання;

$\square_{оз}$ – коефіцієнт дозарядки, $\square_{оз}=1,1$;

$\square_{оч}$ – коефіцієнт очищення, $\square_{оч}=1,0$.

Температура заряду наприкінці такту стискання

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma T_r}{1 + \gamma}, \text{ К.}$$

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:

- вищу: $Q_в = 339C + 1256H - 109(O - S)$;

- нижчу: $Q_н = Q_в - 25,12(9H + W)$, МДж/кг,

де W – вміст води в паливі, %мас.

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_m .

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

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

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:

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

Питома ефективна витрата палива:

$$g_e = \frac{360}{Q_H \cdot \eta_e} \cdot \frac{\gamma}{\text{кВт} \cdot \text{год}},$$

де η_e – ефективний ККД двигуна.

Годинна витрата палива:

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

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 ЗМЗ-513.10 при роботі на етанолі та його сумішах з бензином наведені на рисунках 1-16.

На основі отриманого масиву даних побудовано графічні залежності техніко-експлуатаційних характеристик двигуна від числа обертів (рис. 1-16).

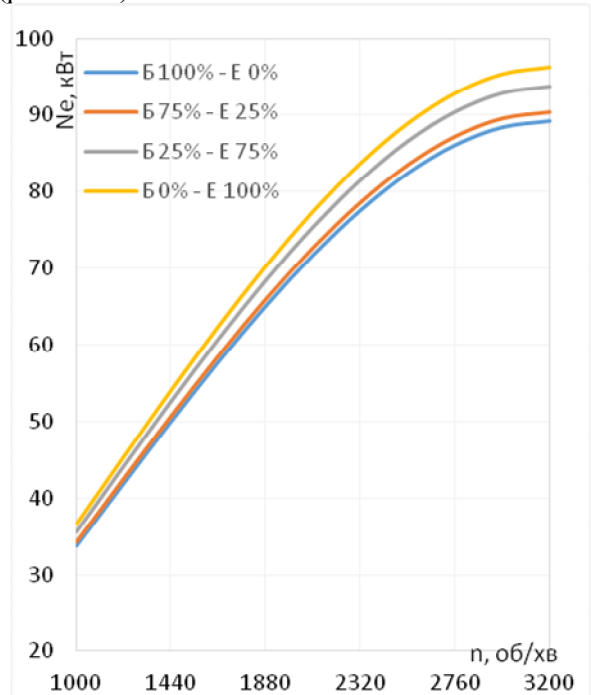


Рисунок 1 – Залежність ефективної потужності від числа обертів двигуна. Висота – 0 м

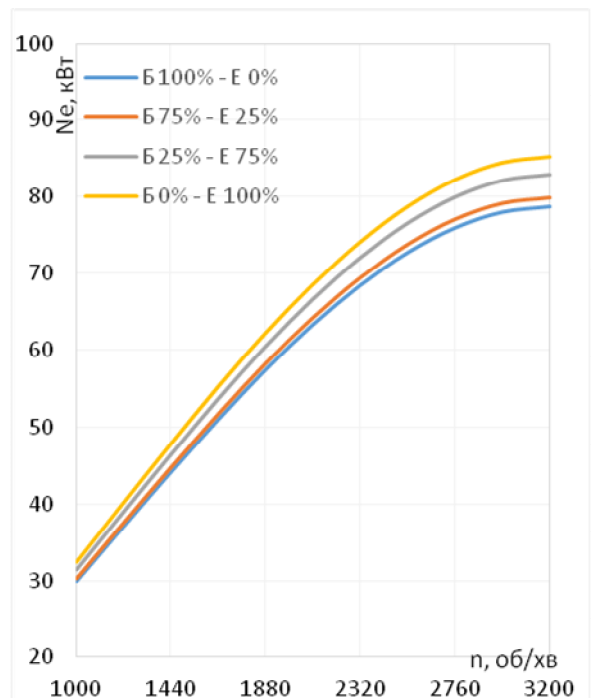


Рисунок 2 – Залежність ефективної потужності від числа обертів двигуна. Висота – 1000 м

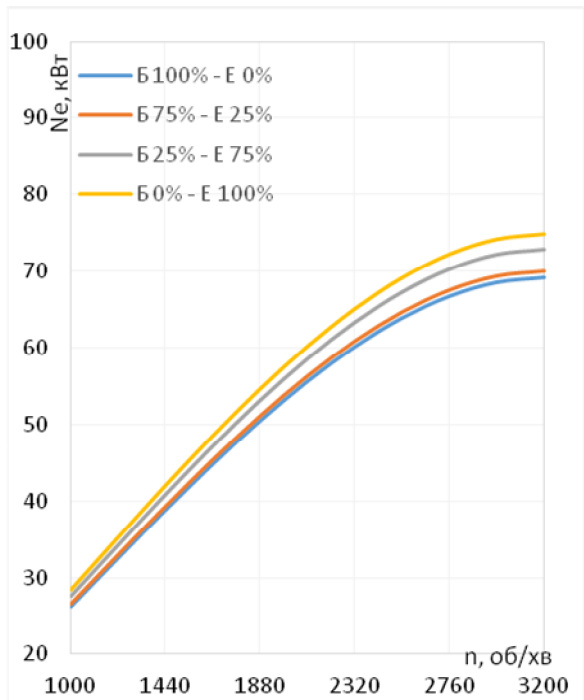


Рисунок 3 – Залежність ефективної потужності від числа обертів двигуна. Висота – 2000 м

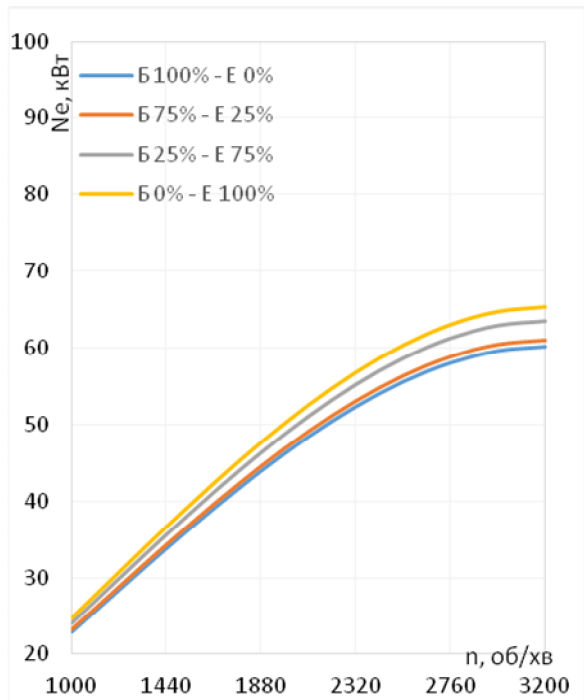


Рисунок 4 – Залежність ефективної потужності від числа обертів двигуна. Висота – 3000 м

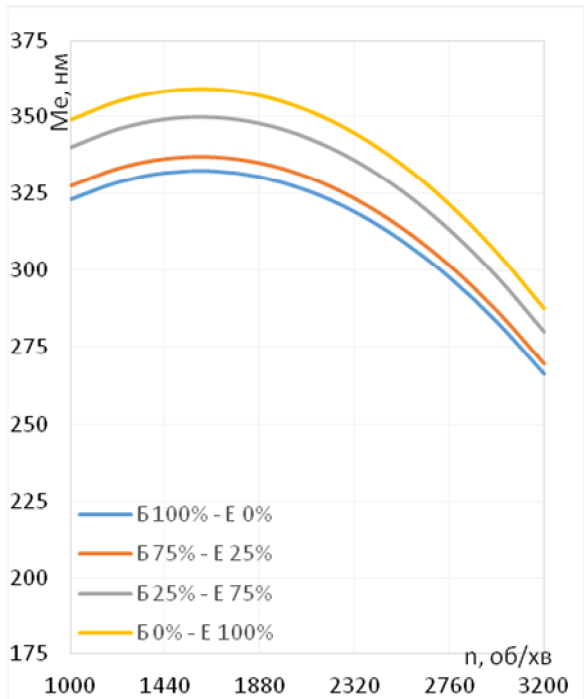


Рисунок 5 – Залежність крутного моменту від числа обертів двигуна. Висота – 0 м

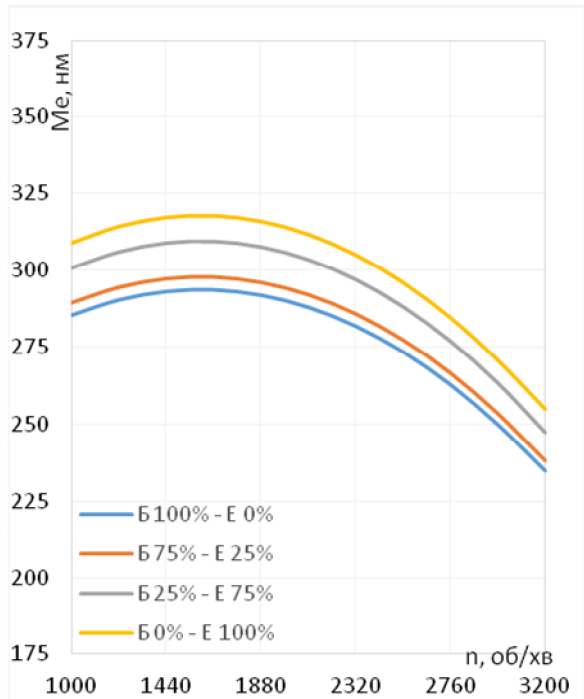


Рисунок 6 – Залежність крутного моменту від числа обертів двигуна. Висота – 1000 м

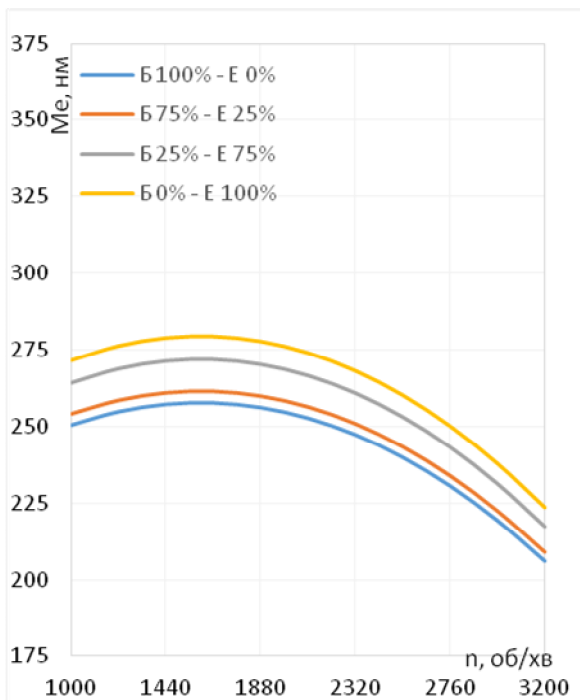


Рисунок 7 – Залежність крутного моменту від числа обертів двигуна. Висота – 2000 м

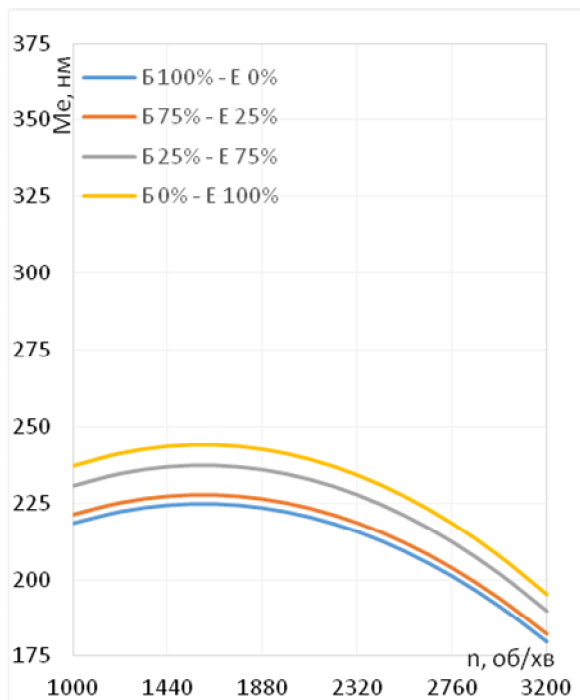


Рисунок 8 – Залежність крутного моменту від числа обертів двигуна. Висота – 3000 м

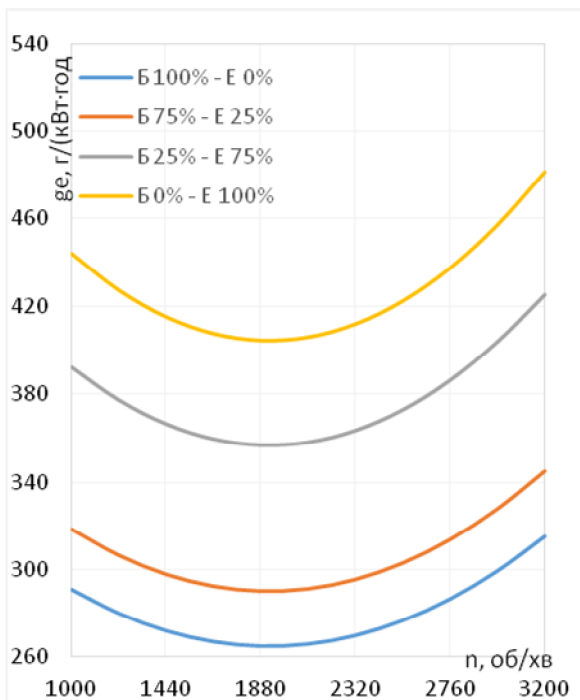


Рисунок 9 – Залежність питомої витрати палива від числа обертів двигуна. Висота – 0 м

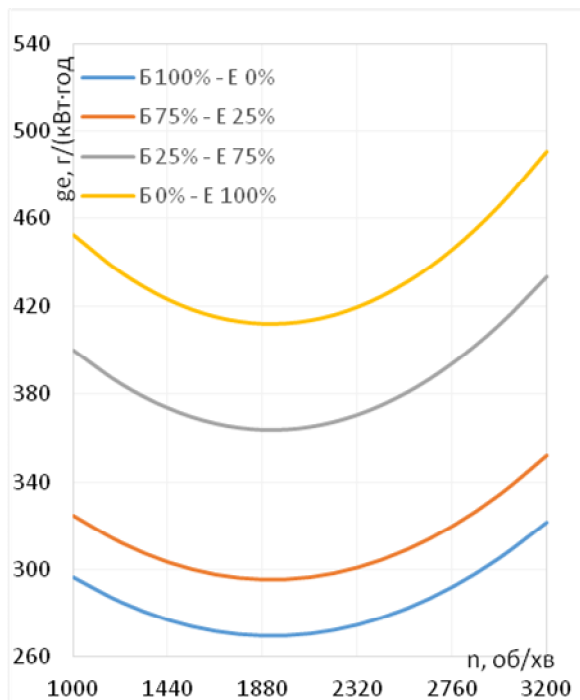


Рисунок 10 – Залежність питомої витрати палива від числа обертів двигуна. Висота – 1000 м

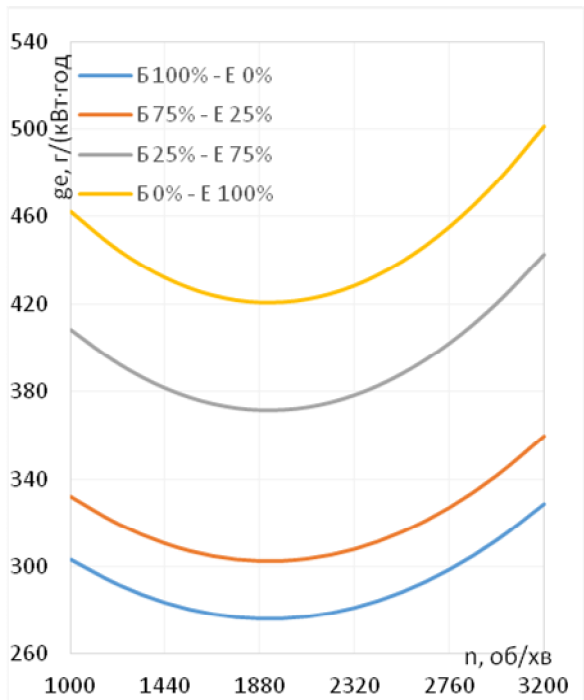


Рисунок 11 – Залежність питомої витрати палива від числа обертів двигуна. Висота – 2000 м

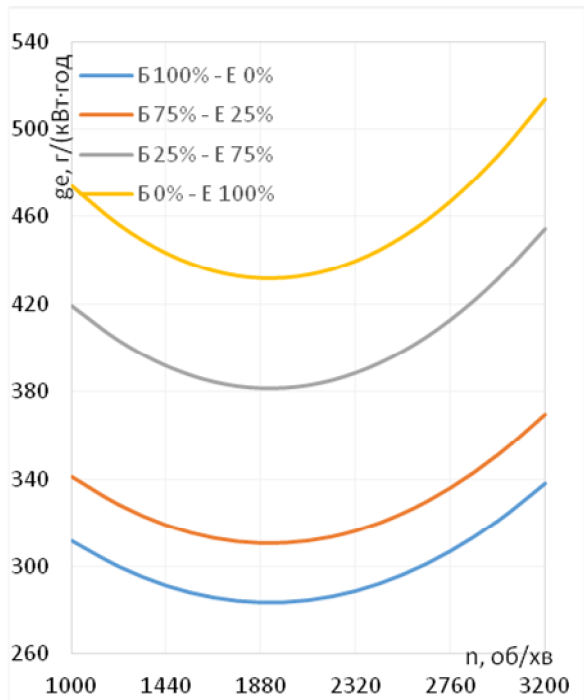


Рисунок 12 – Залежність питомої витрати палива від числа обертів двигуна. Висота – 3000 м

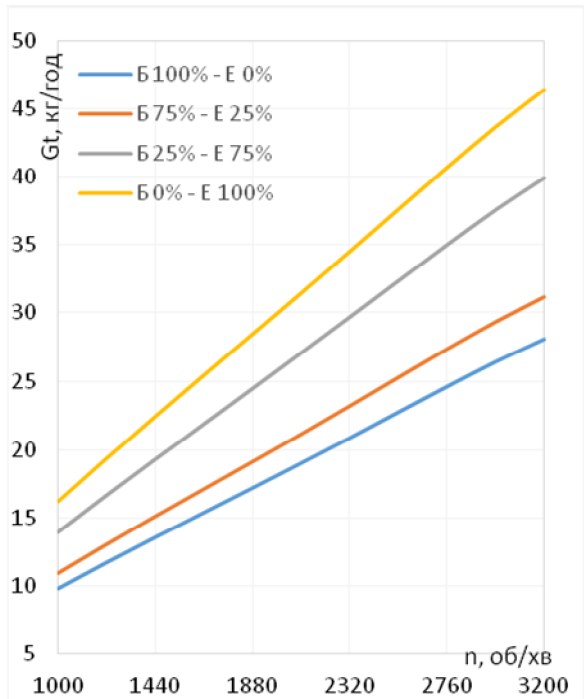


Рисунок 13 – Залежність годинної витрати палива від числа обертів двигуна. Висота – 0 м

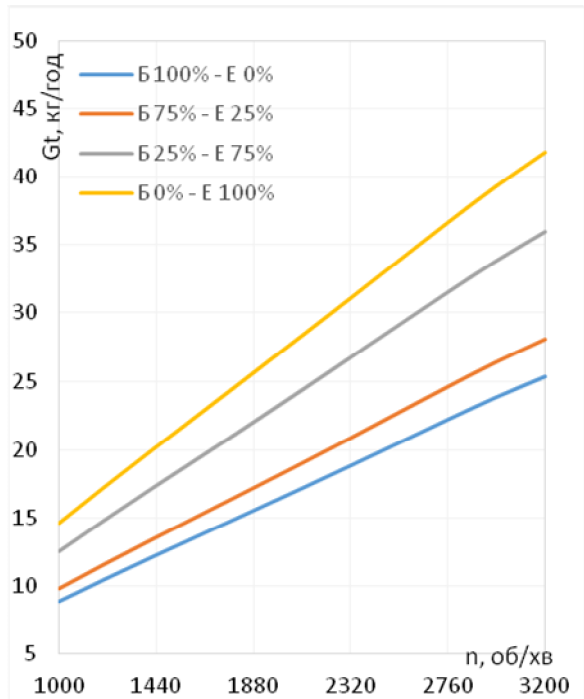


Рисунок 14 – Залежність годинної витрати палива від числа обертів двигуна. Висота – 1000 м

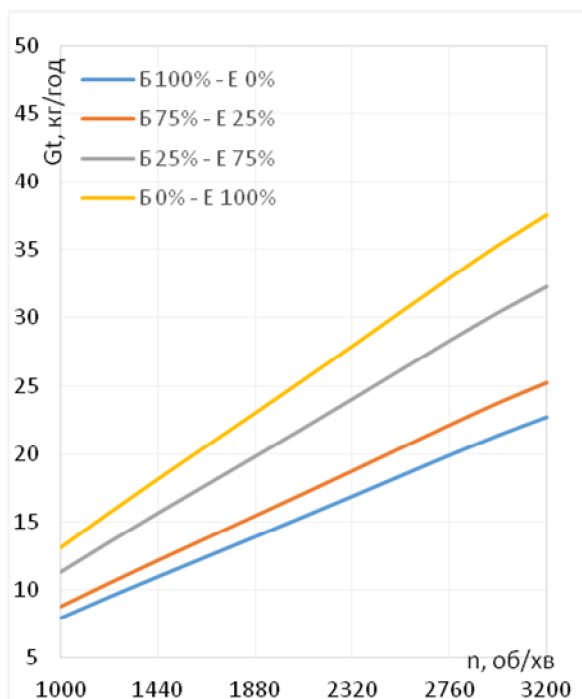


Рисунок 15 – Залежність годинної витрати палива від числа обертів двигуна. Висота – 2000 м

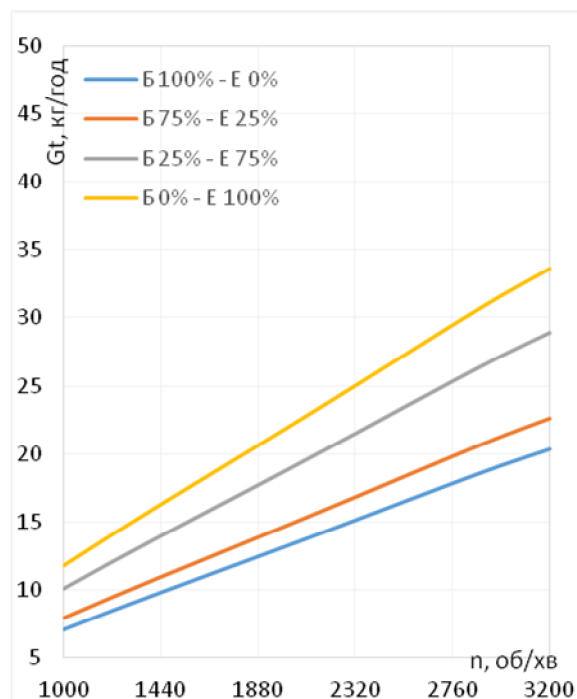


Рисунок 16 – Залежність годинної витрати палива від числа обертів двигуна. Висота – 3000 м

Висновки

Аналітичні розрахунки показують, що використання чистого біоетанолу та його сумішей з бензином суттєво впливають на потужність та крутний момент, що розвиває двигун, проте перехід на біопаливо та його суміші призведе до зростання годинної витрати палива та відповідно питомої ефективної витрати палива.

Збільшену витрату палива необхідно враховувати при плануванні роботи рухомого складу АТП а також при експлуатації автомобілів в гірських умовах. Використання біопалива (біоетанолу) дає можливість значно скоротити вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Якісними показниками є екологічність в Карпатах, оскільки Карпати є основним осередком туризму.

При експлуатації автомобіля на різних висотах, з різними консистенціями сумішей бензин-етанол показники роботи змінюються. Виникає зміна його потужності, крутного моменту, годинної витрати палива, питомої витрати палива.

Підсумковий аналіз роботи підведемо при експлуатації двигуна (автомобіля) на висоті 1000 м. оскільки населені пункти Карпат в основному зосереджені в цій висотній. При експлуатації автомобілям на висоті 1000 м. над рівнем моря ці показники будуть наступними:

1 Потужність двигуна з використанням чистого бензину – 78.767 кВт., з використанням суміші бензин 75% + етанолу 25% – 79.844 кВт., при використанні цієї суміші потужність двигуна зростає на 1.367 % порівняно з чистим бензином. Суміш бензин 25% + етанолу 75% – 82.942 кВт., потужність зростає на 5.3 % порів-

няно з чистим бензином. Суміш чистий етанол – 85.21 кВт., потужність зростає на 8.18 % порівняно з чистим бензином.

2 Крутний момент двигуна з використанням чистого бензину – 235.0542 Нм., з використанням суміші бензин 75% + етанолу 25% – 238.2663 Нм., при використанні цієї суміші крутний момент двигуна зростає на 1.367 % у порівнянні з чистим бензином. Суміш бензин 25% + етанолу 75% – 247.5112 Нм., крутний момент зростає на 5.3 % порівняно з чистим бензином. Суміш чистий етанол – 254.785 Нм., крутний момент зростає на 8.394 % порівняно з чистим бензином.

3 Питома витрата палива двигуна з використанням чистого бензину – 321.363 г/(кВт·год), з використанням суміші бензин 75% + етанолу 25% – 351.84 г/(кВт·год), при використанні цієї суміші питома витрата палива двигуна зростає на 9.484 % порівняно з чистим бензином. Суміш бензин 25% + етанолу 75% – 433.048 г/(кВт·год), питома витрата палива зростає на 34.754 % порівняно з чистим бензином. Суміш чистий етанол – 490.361 г/(кВт·год), питома витрата палива зростає на 52.588 % порівняно з чистим бензином.

4 Годинна витрата палива двигуна з використанням чистого бензину – 25.313 кг/год., з використанням суміші бензин 75% + етанолу 25% – 28.092 кг/год., при використанні цієї суміші годинна витрата палива двигуна зростає на 10.979 % порівняно з чистим бензином. Суміш бензин 25% + етанолу 75% – 35.918 кг/год., годинна витрата палива зростає на 41.895 % порівняно з чистим бензином. Суміш чистий етанол – 41.783 кг/год., годинна витрата палива зростає на 65.065 % порівняно з чистим бензином.

5 Даний аналіз буде служити основою для подальших досліджень, за рахунок яких внутрішніх чинників двигунів внутрішнього згоряння при роботі в гірських умовах на сумішах біоетанолу і стандартних бензинах. Це зміна техніко-експлуатаційні показники коефіцієнт наповнення, коефіцієнт залишкових газів, характер протікання процесу згоряння, тощо.

Література

1 ГОСТ 17299-78. Спирт этиловый технический.

2 Святченко С.І. Економічні розрахунки витрат при виробництві біопалива // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. – 2010. – №8. – С. 274-279.

3 Ethanol production from hexoses, pentoses, and dilute-acid hydrolyzate. / Sues A. [et al] // FEMS. – 2005. – V. 5. – P. 669-676.

4 Пурыгин П.П. Определение токсичности и антиоксидантной активности биомассы спирулины платенсис и лекарственных форм на её основе / Пурыгин П.П., Желонкин Ю.Л., Боропец Т.Ю. // Вестник СамГУ. Естественнаучная серия. – 2007. – Т. 56. – № 6. – С. 393-400.

5 Этиловый спирт / В.М.Стабников, П.М.Мальцев, І.М.Ройтер, Б.Д.Метюшов; під ред. В.М.Стабникова. – К: Державне видавництво технічної літератури УРСР, 1959. – 336 с.

6 Про стан використання біодизеля та біоетанолу у світі та в Україні. Аналітична записка / [Електронний ресурс] / Экологические системы. Электронный журнал энергетической кампании ЭСКО. – 2009. – № 6. – 19/03/2010 // Режим доступа до журналу: http://esco-ecosys.narod.ru/2009_6/art026.htm.

7 Калетник Г.М. Перспективи виробництва біоетанолу в Україні / Г.М. Калетник // Аграрна техніка та обладнання. – 2009. – № 2. – С. 50-55.

Стаття надійшла до редакційної колегії

25.04.16

Рекомендована до друку

професором Артимом В.І.

(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)

канд. хім. наук Литвином Б.Л.

(НДПІ ПАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ)