

Т.В. Дикун, ст. викл., ORCID 0000-0002-9848-4343

Л.І. Гаєва, канд. хім. наук, доц., ORCID 0000-0003-4948-845X

Ф.В. Козак, канд. техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-9147-883X

Я.М. Дем'янчук, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-2005-2986

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## АНАЛІЗ РОБОТИ АВТОТРАНСПОРТУ НА БІОГАЗІ В ГІРСЬКИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Актуальність проблеми ефективного використання традиційних джерел енергії і пошук альтернативних ресурсів не викликає сумніву. На сьогодні в Україні майже не використовується потенціал низькокалорійних газів, що у значній кількості виробляються сільським господарством та промисловістю, зокрема біогазу. Кількість існуючих вітчизняних установок з утилізації цього газу є незначним, хоча у більшості розвинених країнах налічується сотні і тисячі таких установок. Одним з перспективних джерел енергії є біогаз сміттєзвалищ, який на сьогодні викидається в атмосферу і забруднює її, або спалюється у факельних установках. Малорозвиненим напрямком використання біогазу – використання його в якості палива в автомобільних двигунах внутрішнього згорання. Однак заміна бензину на біогаз призводить до зменшення потужності двигунів та до збільшення витрати палива. Особливо це слід враховувати при експлуатації автомобілів в гірській місцевості – при зменшенні атмосферного тиску та температури. Знаючи компонентний склад біогазу можна розрахувати його теплоту згорання та теплоту згорання газоповітряних сумішей. В результаті аналітичних досліджень отримано графічні залежності зміни ефективної потужності і ефективної питомої витрати біогазу від зміни температури та зміни атмосферного тиску доквілля.

**Ключові слова:** біогаз, ефективність, теплота згорання, атмосферний тиск, температура, потужність, питома витрата.

**Вступ.** Біогаз – газ, який утворюється при мікробіологічному розкладанні органічних відходів на сміттєзвалищах, болотах, каналізаційних системах, тощо.

На сьогоднішній день частка відновлювальних джерел енергії в світовому енергетичному балансі незначна – близько 14 %, а внесок біомаси – 1,2 %. Але, як свідчить практика, навіть незначні коливання на ринках енергетичних ресурсів, призводить до суттєвого підвищення цін на енергоносії. Тому роль альтернативної енергетики на ринках буде тільки зростати. В структурі альтернативної енергетики в світі енергія біомаси становить до 13 %. За прогнозами вчених, частка відновлювальних джерел енергії до 2040 року досягне 47,7 %, а внесок біомаси – 23,8 % [1].

Питанню дослідження впливу гірських умов на показники роботи автомобільних двигунів на біогазі в Україні та світі приділяється дуже мало уваги.

Експлуатація автомобілів на гірських дорогах Карпатського регіону на висотах 1000÷2000 м над рівнем моря з підйомами і спусками до 12 %, протяжністю ділянок до 10÷15 км – є складною.

З підвищенням рівня місцевості над рівнем моря атмосферний тиск, густина повітря і температура знижуються, що погіршує наповнення циліндрів двигуна автомобіля. Внаслідок розрідження повітря і малих швидкостей руху на крутих підйомах інтенсивність охолодження двигуна знижується. Одночасно робота двигунів на Perezбагаченій горючій суміші і рух здебільшого на нижчих передачах призводить до перегрівання двигунів, температура закипання охолоджуючої рідини в гірських умовах знижується.

Аналіз сучасних закордонних та вітчизняних даних. Згідно даних наведених в [2], залежність між зміною атмосферного тиску та температури доквілля від висоти показана в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні показники доквілля залежно від висоти над рівнем моря

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

**Мета статті.** 1. Проаналізувати можливість і особливості використання біогазу як палива для двигунів внутрішнього згорання в гірських умовах.

2. Дослідити вплив окремих параметрів навколишнього середовища в гірських умовах на роботу двигунів внутрішнього згорання, їх техніко-експлуатаційні показники.

© Т.В. Дикун, Л.І. Гаєва, Ф.В. Козак, Я.М. Дем'янчук, 2020

**Іноземний досвід.** Біогазові технології розвиваються досить швидкими темпами. За даними журналу «Міжнародна біоенергетика» 80 % біогазового потенціалу міститься в сільськогосподарській сировині і 10÷11 % - в промислових і комунальних відходах. Сьогодні перше місце в Європі за кількістю діючих біогазових установок належить Німеччині – в 2010 р. їх нараховувалося понад 9000. 7 % виробленого цими установками біогазу надходить в газопроводи, решта використовується для потреб виробника. За масштабами застосування біогазу передре Даниї. Даний вид палива забезпечує тут майже 20 % від загального енергоспоживання країни.

У 12 європейських країнах (Австрія, Чехія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Швеція, Великобританія, Італія, Ісландія, Угорщина) біометан використовується як моторне поливо (в тому числі у вигляді суміші з природним газом), а також для виробництва тепла [3].

В Україні існують поодинокі приклади застосування біогазових технологій. Кілька біогазових проєктів на полігонах твердих побутових відходів (ТПВ) в м. Маріуполь, Львів, Кременчук, Луганськ, Київ, а також на Бортницькій станції очищення стічних вод (м. Київ). Проєкт, реалізованих компанією ЛНК на київському полігоні №5 є найбільш успішним – на полігоні працює лінійка з п'яти біогазових двигунів компанії TEDOM з встановленою потужністю 177 кВт. Одним із яскравих прикладів успішної реалізації біогазового проєкту по використанню біогазу для двигунів внутрішнього згоряння є біогазова установка «Полігон ТПВ с. Рибне» поблизу м. Івано-Франківська. Для виробництва біогазу, отриманого із сміттєзвалища, було пробурено 18 свердловин та встановлено дві газодизельні установки потужністю 330 кВт, які використовуються для виробництва електроенергії. Прикладів успішного використання біогазу для автомобільних двигунів внутрішнього згоряння, крім примітивних проєктів фермерських господарств, на жаль в Україні немає.

Біогаз у порівнянні з традиційними паливами володіє наступними перевагами:

- виробляється з біологічної сировини, отже його виробництво і спалювання є частиною природного циклу карбону, що не призводить до накопичення газу в атмосфері і до парникового ефекту. Екологічні збитки від систем збору органічних відходів знижуються. Забезпечується екологічно замкнута енергетична система.

- біогаз – відновлювальне джерело енергії, яке фактично ніколи не вичерпується. Для порівняння, природного газу і нафти при теперішніх темпах їх використання, за прогнозами, вистачить не більше як на 50 років [4].

- біогаз виробляється близько до споживача, сировина для його виробництва теж знаходиться недалеко від заводів і немає необхідності транспортувати газ на великі відстані.

Усереднений компонентний склад біогазу наведений в таблиці 2.

Таблиця 2 – Компонентний склад біогазу

№ п/п	Компонент	Вміст, % об.
1	Метан (CH <sub>4</sub> )	50÷75
2	Діоксид карбону (CO <sub>2</sub> )	25÷50
3	Водень (H <sub>2</sub> )	0÷1,0
4	Сірководень (H <sub>2</sub> S)	0÷3,0
5	Азот (N <sub>2</sub> )	0÷10,1
6	Кисень (O <sub>2</sub> )	0÷2,0

Наявність є біогазу сірководню є досить негативним фактором, оскільки сірководень вступає в реакцію з більшістю металів і може викликати корозію деталей двигунів внутрішнього згоряння, резервуарів, баків. Тому актуальним є питання очищення біогазу.

Недоліком біогазу порівняно з традиційними автомобільними паливами є мала концентрація енергії від його згоряння, що призводить до зменшення коефіцієнта корисної дії двигуна, ефективної потужності і збільшення витрати палива.

Знаючи компонентний склад біогазу за формулою Менделєєва можна розрахувати теплоту згоряння біогазу  $Q_n$

$$Q_n = 128 \cdot CO + 108 \cdot H_2 + 234 \cdot H_2S + 339 \cdot CH_4 + 589 \cdot C_nH_m \left[ \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right] \quad (1)$$

де  $CO, H_2, H_2S, CH_4, C_nH_m$  – вміст у газоподібному паливі окремих компонентів, % об. за нормальних умов (н.у).

Згідно формули (2) проведені розрахунки теплоти згоряння газових сумішей

$$Q_{п.с.} = \frac{Q_n \cdot \eta}{1 + \alpha L_0} \quad (2)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт повноти згоряння;

$L_0$  – теоретично необхідний об'єм повітря для згоряння 1 м<sup>3</sup> палива для за н.у.

Розрахунки показують, що для двигуна автомобіля *Opel-Vectra* при коефіцієнті надлишку повітря  $\alpha = 1$  нижча теплота складає: для бензоповітряної суміші –  $Q_n = 3739$  кДж/м<sup>3</sup>, газоповітряної суміші –  $Q_n = 3404$  кДж/м<sup>3</sup>, а біогазоповітряна суміш (при вмісті  $CH_4 = 62\%$ ) –  $Q_n = 2168$  кДж/м<sup>3</sup>.

Зниження питомої теплоти згоряння в порівнянні з стандартним паливом 1 м<sup>3</sup> горючої суміші при використанні природного газу  $CH_4$  становить 8,7 %, біогазу – 42,1 %, а при використанні суміші біогазу і 30 %  $CH_4$  – 15,25 %.

Тобто, одним з варіантів покращення показників роботи двигунів внутрішнього згоряння є змішування природного газу з біогазом. Нижча теплота згоряння такої суміші змінюється за графіком, який зображено на рисунку 1.

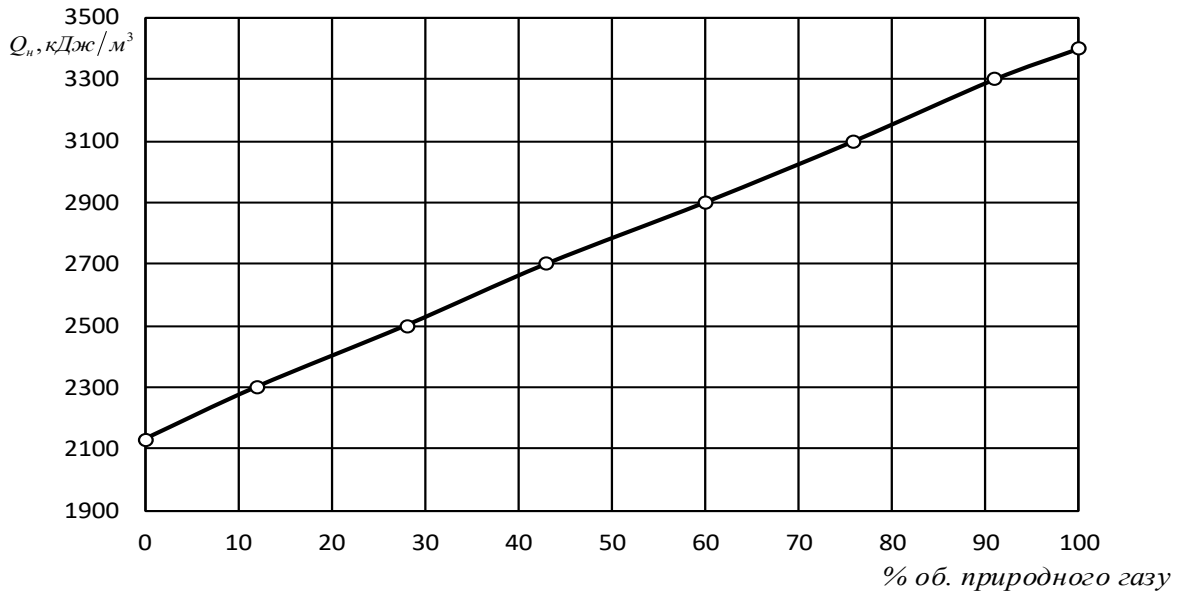


Рисунок 1 – Нижча теплота згоряння газових сумішей  $CH_4$  і біогазу

**Основна частина.**

Дослідження проводилися на двигуні ЗМЗ-5234 і ЗИЛ-130. Для розрахунків використовувався програмний комплекс розрахунку та оптимізації роботи двигунів внутрішнього згоряння «Дизель-ПК» [6].

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

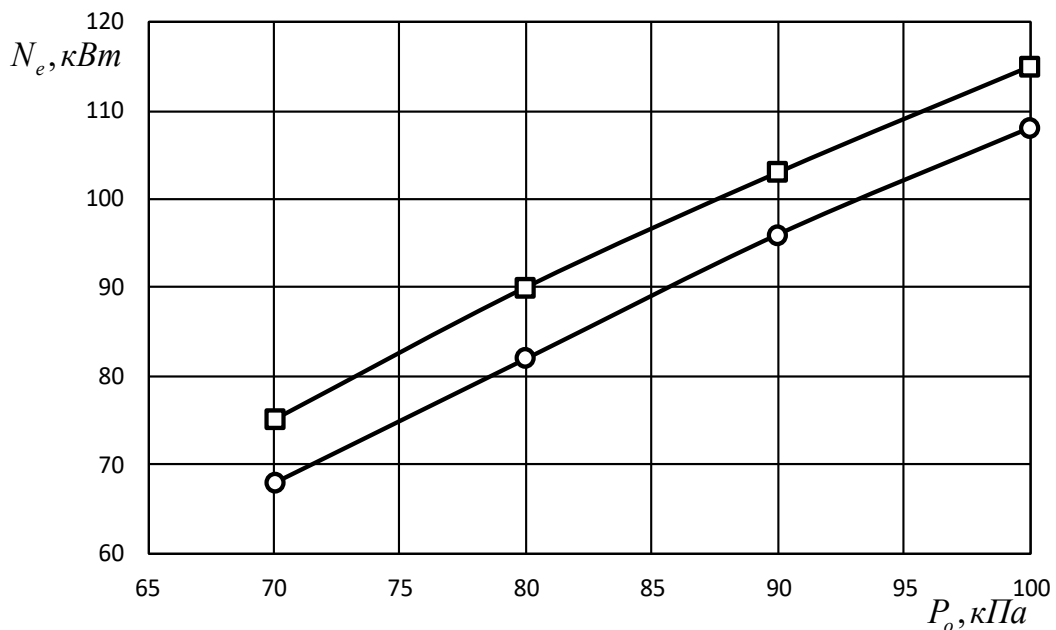


Рисунок 2 – Залежність зміни ефективної потужності двигуна ЗМЗ-5234.10 від атмосферного тиску

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_h \cdot n \cdot i}{30 \cdot \tau}, \text{ кВт} \quad (3)$$

де  $V_h$  – робочий об'єм двигуна, л;  
 $n$  – число обертів, об/хв;  
 $i$  – кількість циліндрів;  
 $\tau$  – тактність двигуна.

$$M_k = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot N_e}{\pi \cdot n}, \text{ Н·м.} \quad (4)$$

Питома ефективна витрата палива

$$g_e = \frac{G_T}{N_e}, \frac{\text{г}}{\text{еф.кВт.год}} \quad (5)$$

де  $G_T$  – годинна витрата палива,  $\frac{\text{г}}{\text{год}}$ .

В результаті аналітичних досліджень отримано графіки залежності зміни ефективної потужності і ефективної питомої витрати біогазу від зміни температури і зміни атмосферного тиску довкілля.

Ці залежності показані на рисунках 2, 3, 4, 5.

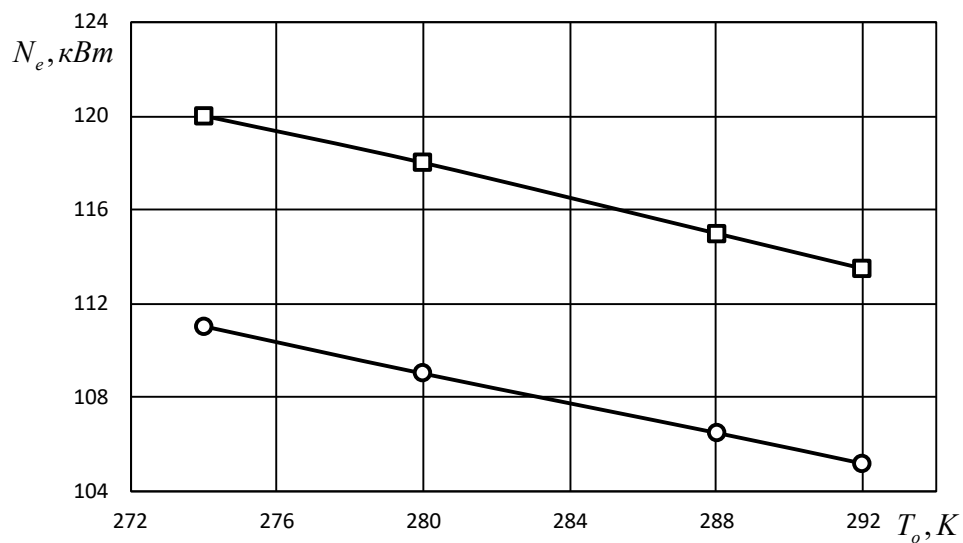


Рисунок 3 – Залежність зміни ефективної потужності двигуна ЗМЗ-5234.10 від зміни температури довкілля

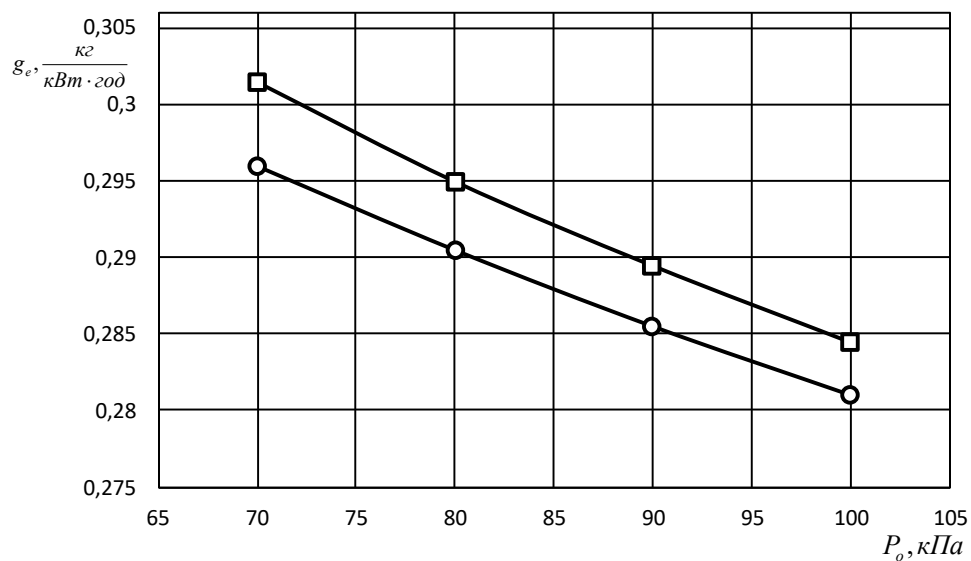


Рисунок 4 – Графік зміни питомої ефективної витрати палива двигуна ЗМЗ-5234.10 від зміни атмосферного тиску

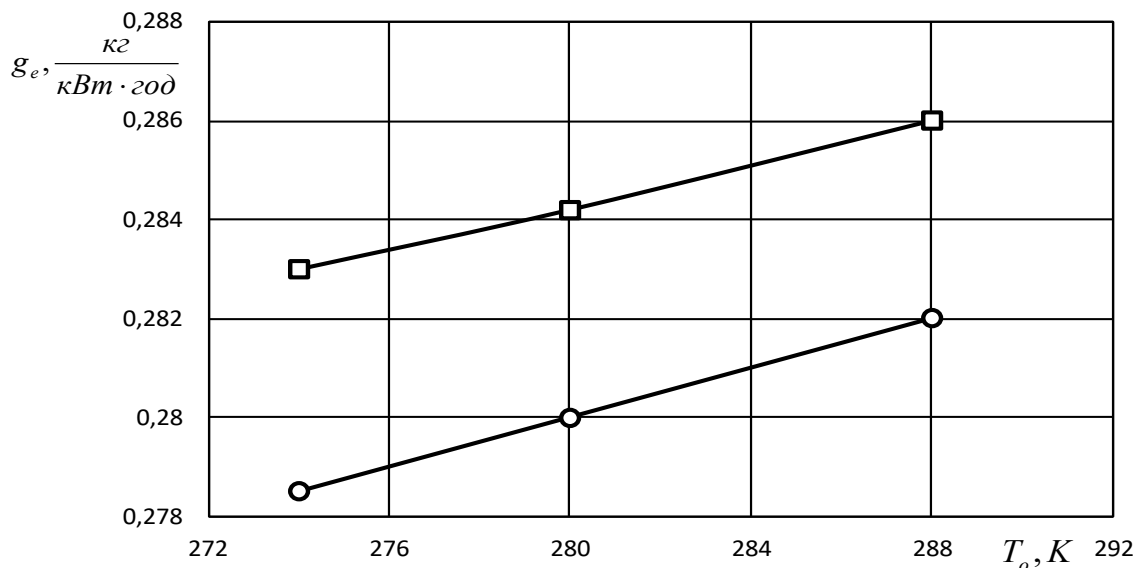


Рисунок 5 – Графік зміни питомої ефективної витрати палива двигуна ЗМЗ-5234.10 від з міні температури доквілля

Як видно з дослідження, при використанні біогазу як автомобільного палива в гірських умовах зі знизенням атмосферного тиску знижується в порівнянні з бензином ефективна потужність на  $6 \div 9 \%$  і збільшується питома ефективна витрата палива на  $7,3 \div 7,5 \%$  в залежності від величини зменшення тиску. При знизенні температури доквілля ефективна потужність двигуна знижується на  $14 \div 16 \%$  і збільшується питома ефективна витрата палива на  $14 \div 20 \%$ . Вплив цих факторів можна зменшити за рахунок додавання до біогазу природного газу. Як впливає це на питому ефективну витрату палива в двигунах показано на рисунку 6.

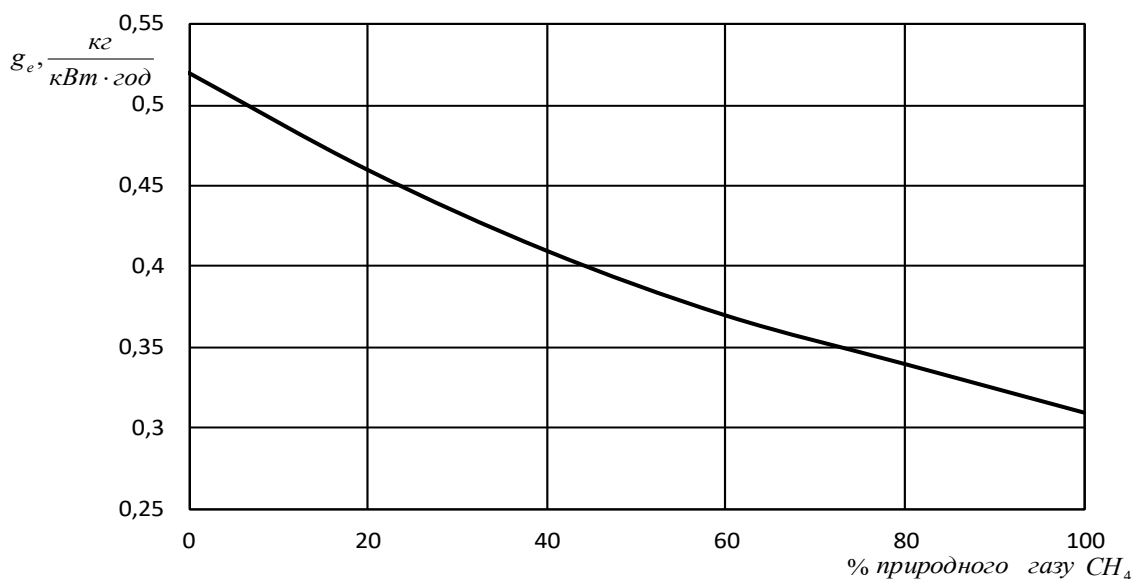


Рисунок 6 – Графік зміни питомої ефективної витрати палива при додаванні природного газу

**Висновки:**

1. Використання біогазу для двигунів внутрішнього згорання в гірських умовах може частково вирішити проблему дефіциту палива. Для цього в Україні є необхідні резерви.

2. Оскільки нижча теплота згорання біогазу на  $(40 \div 45) \%$  менша ніж у традиційного палива з нафти, потужність і питома ефективна витрата палива при експлуатації автомобілів в гірських умовах суттєво змінюється. В залежності від температури доквілля потужність знижується на  $14 \div 16 \%$ , а питома витрата пального зростає на  $14 \div 20 \%$ . В залежності від висоти відповідно потужність знижується на  $6 \div 9 \%$ , а витрата пального зростає на  $7,3 \div 7,5 \%$ .

3. Покращити техніко-експлуатаційні показники роботи двигунів внутрішнього згорання можна за рахунок додавання до біогазу природного газу.

**Список використаної літератури**

1. International Energy Outlook 2001. U.S. Department of Energy, March 2001 (IEO 2001).
2. Турсунов А.А., Абдуллаев М.А. Влияние атмосферно-климатических условий и рельефа местности на эффективность работ автомобилей. Проблемы транспорта Дальнего Востока: Сб. Владивосток. 2001. №1. С.277-279.
3. Кулешов А.С. Программа расчета и оптимизации двигателей внутреннего сгорания ДИЗЕЛЬ-РК. М: МГТУ им. Баумана. 2004. 123 с.
4. Дикун Т.В., Мельник В.М., Гаєва Л.І., Долишній Б.В., Януш А. Аналіз роботи автомобільних двигунів в гірських умовах на газовому паливі. Нафтогазова енергетика. Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал. ІФНТУНГ. Івано-Франківськ. 2014. № 2 (22) 2014 . С. 110-116.
5. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни. К: Арістей, 2004. – 438 с.
6. Биогаз (Электронный ресурс). – Режим доступа: [http://uk.wikipedia.org/wiki/ Биогаз](http://uk.wikipedia.org/wiki/Биогаз).

**T. Dykun**, Assis. Prof., ORCID 0000-0003-2005-2986

**L. Haieva**, Cand. Sc. (Chem.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0003-4948-845X

**F. Kozak**, Cand. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000-0002-9147-883X

**Ya. Demianchuk**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0003-2005-2986

**Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas**

## **BIOGAS AS AN ALTERNATIVE FUEL FOR AUTOMOTIVE TRANSPORT IN MOUNTAIN AREAS**

*The potential of low-calorie gases, in particular, biogas, which Ukrainian agriculture and industry produce in significant quantities, is almost never used here. The number of available domestic facilities for recycling such gases is scanty, although, in most developed countries, the significant number of such factories is operating. Landfill biogas is one of the promising energy sources, still, today, it is either emitted into the atmosphere, polluting it, or burned in flares. The use of biogas as fuel in automotive internal combustion engines is not sufficiently studied. However, the substitution of gasoline for biogas reduces engine power and increases fuel consumption. Especially this should be taken into account when operating vehicles in mountainous terrain under the conditions of reduced atmospheric pressure and temperature. Nevertheless, researching how mountain conditions can influence the performance of biogas-powered automobile engines is not given enough attention yet in Ukraine and in the world. Operation of cars on the mountain roads of the Carpathian region at the altitudes of 1000 ÷ 2000 m above sea level with rises and descents up to 12% and the section length up to 10 ÷ 15 km is difficult. The higher is the level of the terrain above the sea, the lower become the atmospheric pressure, air density and temperature, which deteriorates the filling of the car engine cylinders. The engine cooling rate decreases because of the air dilution and small speeds on steep slopes. Simultaneously, running engines on an excessively enriched fuel-air mixture and moving mainly in lower gears lead to engine overheating. Under the mountainous terrain conditions, Air to Boil temperature decreases. As we know the blend composition of biogas, it is possible to calculate its combustion value as well as the combustion value of the gas-air mixtures. Based on analytical research, we have plotted some graphs that reflect the dependence of the changes in the effective power and effective specific biogas consumption on the changes in ambient temperature and atmospheric pressure.*

**Keywords:** biogas, efficiency, the heat of combustion, atmospheric pressure, temperature, power, specific consumption.

### **REFERENCES**

1. International Energy Outlook 2001. U.S. Department of Energy, March 2001 (IEO 2001).
2. Tursunov A.A. Vlyaniye atmosferno-klymatycheskykh uslovyi y relefa mestnosity na effektivnost raboty avtomobylei (Influence of atmospheric-climatic conditions and terrain on car performance) / A.A. Tursunov, M.A. Abdulloev // Problemy transporta Dalneho Vostoka: Sb. – Vladivostok, 2001. – №1. – Pp. 277-279. (in Russian).
3. Kuleshov A.S. Prohramma rascheta y optymyzatsyy dvyhatelei vnutrenneho shoranyia DYZEL-RK (Software for calculation and optimization of internal combustion engines DIESEL-RK) / A.S. Kuleshov. – M: MHTU named after Bauman, 2004. – 123 p. (in Russian).

4. Avtomobilni dvyhuny (Automobile engines) / Abramchuk F.I., Hutarevych Yu.F., Dolhanov K.Ie., Tymchenko I.I. – K: Aristei, 2004. – 438 p. (in Ukrainian)

5. Biogas. – URL: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Биогаз>.

УДК 621.431.36

**Т.В. Дикун**, ст. преп., ORCID 0000-0003-2005-2986

**Л.И. Гаева**, канд. хим. наук, доц., ORCID 0000-0003-4948-845X

**Ф.В. Козак**, канд. техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-9147-883X

**Я.М. Демянчук**, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-2005-2986

**Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа**

## **АНАЛИЗ РОБОТЫ АВТОТРАНСПОРТА НА БИОГАЗЕ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Актуальность проблемы эффективного использования традиционных источников энергии и поиск альтернативных ресурсов не вызывает сомнения. На сегодня в Украине почти не используется потенциал низкокалорийных газов в большом количестве производятся сельским хозяйством и промышленностью, в частности биогаза. Количество существующих отечественных установок по утилизации этого газа является незначительным, хотя в большинстве развитых странах насчитывается сотни и тысячи таких установок. Одним из перспективных источников энергии является биогаз свалок, который сегодня выбрасывается в атмосферу и загрязняет ее, или сжигается в факельных установках. Малоразвитым направлением использования биогаза - использование его в качестве топлива в автомобильных двигателях внутреннего сгорания. Однако замена бензина на биогаз приводит к уменьшению мощности двигателей и к увеличению расхода топлива. Особенно это следует учитывать при эксплуатации автомобилей в горной местности - при уменьшении атмосферного давления и температуры. Зная компонентный состав биогаза можно рассчитать его теплоту сгорания та теплоту сгорания газоповітряних сумішей. В результаті аналітичних досліджень отримано графічні залежності зміни ефективної потужності і ефективної питомої витрати биогазу від зміни температури та зміни атмосферного тиску довкілля.*

**Ключевые слова:** биогаз, эффективность, теплота сгорания, атмосферное давление, температура, мощность, удельный расход.

Надійшла 21.03.2020

Received 21.03.2020