

Нові рішення у сучасній техніці та технологіях

УДК 621.431.36

DOI: 10.31471/1993-9868-2019-1(31)-83-91

АНАЛІЗ РОБОТИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ НА БІОГАЗІ З ВІДХОДІВ СМІТТЄЗВАЛИЩ

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

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

Актуальність проблеми ефективного використання традиційних джерел енергії і пошук альтернативних ресурсів не викликає сумніву. На сьогодні в Україні майже не використовується потенціал низькокалорійних газів, зокрема біогазу, що у значній кількості утворюються на сміттєзвалищах з твердих побутових відходів. Кількість існуючих вітчизняних установок з утилізації цього газу є незначною. На сьогодні цей цінний ресурс в кількості до 1 млрд. м³ на рік викидається в атмосферу і забруднює її, або спалюється у факельних установках. Малорозвиненим напрямком використання біогазу є використання його в автомобільних двигунах внутрішнього згорання. Однак заміна бензину на біогаз призводить до зменшення потужності двигунів та до збільшення витрати палива. Знаючи компонентний склад біогазу, можна розрахувати теплоту згорання його та теплоту згорання газоповітряних сумішей.

За результатами аналітичних досліджень побудовано графічні залежності зміни ефективної потужності, крутного моменту і ефективної питомої витрати біогазу від оборотів двигуна та здійснено порівняння цих величин з аналогічними при роботі двигуна на бензині. Залежності показують, що використання біогазу в якості палива для ДВЗ призводить до значного зменшення наведених вище параметрів: зокрема ефективна потужність зменшується до 20 %, крутний момент до 22 %, а питома ефективна витрата пального зростає на 170 %. Однак через низьку вартість даного виду автомобільного палива та значну ресурсну базу для його отримання в Україні можна зробити висновок – використання біогазу з сміттєзвалищ варто розширювати, оскільки воно є перспективним, з точки зору енергонезалежності, як окремих суб'єктів господарювання, так і держави загалом.

Ключові слова: біогаз, сміттєзвалище, екологія, склад біогазу, теплота згорання, ефективна потужність, крутний момент, питома витрата.

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 частности биогаза, в значительном количестве образующегося на свалках из твердых бытовых отходов. Количество существующих отечественных установок из утилизации этого газа является незначительным. На сегодня этот ценный ресурс в количестве до 1 млрд. м³ на год выбрасывается в атмосферу и загрязняет ее, или сжигается в факельных установках. Малоразвитым направлением использования биогаза является использование его для автомобильных двигателей внутреннего сгорания. Однако замена бензина на биогаз приводит к уменьшению мощности двигателей и к увеличению затраты топлива. Зная компонентный состав биогаза, можно рассчитать теплоту его сгорания и теплоту сгорания газозоудушных смесей.

По результатам аналитических исследований построены графические зависимости изменения эффективной мощности, крутящего момента и эффективного удельного расхода биогаза от оборотов

двигателя и осуществлено сравнение этих величин с аналогичными при работе двигателя на бензине. Зависимости показывают, что использование биогаза в качестве топлива для ДВЗ приводит к значительному уменьшению вышеприведенных параметров: в частности эффективная мощность уменьшается до 20 %, крутящий момент до 22 %, а удельный эффективный расход горючего растет на 170 %. Однако через низкую стоимость данного вида автомобильного топлива и значительную ресурсную базу для его получения в Украине можно сделать вывод – использование биогаза из свалок стоит расширять, так как он является перспективным, с точки зрения энергонезависимости, как отдельных субъектов ведения хозяйства, так и государства в целом.

Ключевые слова: биогаз, свалка, экология, состав биогаза, теплота сгорания, эффективная мощность, крутящий момент, удельный расход.

The problem of the effective use of traditional energy sources and the search for alternative resources is currently urgent. Today, in Ukraine, the low-calorie gas potential, which in large quantities is formed in landfills from solid household wastes, in particular biogas, is almost not used. The number of existing domestic installations for the disposal of this gas is insignificant. Today, this valuable resource in quantities of up to 1 billion cubic meters per year is emitted into the atmosphere contaminating it, or burned in flares. Rarely biogas is used in automotive internal combustion engines. However, replacing gasoline with biogas results in reduction in engine power and an increase in fuel consumption. Knowing the component composition of biogas, one can calculate the heat of its combustion and the heat of combustion of gas-air mixtures.

According to the results of analytical studies, the graphic dependences of the change in effective power, torque and the effective specific biogas flow rate on engine revolutions were constructed and a comparison of these values with those of a petrol engine was performed. Dependencies show that the use of biogas as a fuel for the ICE leads to a significant reduction of the above parameters: in particular, the effective power decreases to 20%, torque to 22%, and the specific effective fuel consumption increases by 170%. However, due to the low cost of this type of automobile fuel and the considerable resource base for its obtaining in Ukraine, one can conclude - the use of biogas from landfills should be expanded and this is promising, in terms of energy independence of both separate economic entities and the state as a whole.

Keywords: biogas, landfill, ecology, biogas composition, heat of combustion, effective power, torque, specific consumption.

Вступ

На сьогоднішній день в умовах постійного зростання вартості вуглеводневих енергоносіїв, а отже, і вартості товарів, які транспортуються, та послуг, які надаються завдяки роботі автомобільного транспорту, відкритим залишається питання застосування альтернативних енергоносіїв для зменшення рівня споживання продуктів нафтопереробки, підвищення рівня енергетичної незалежності і ефективності використання наявних енергоносіїв, підвищення екологічності та зменшення навантаження на навколишнє середовище через діяльність людини.

Варіантами покращення ситуації є зменшення навантаження відпрацьованих газів від роботи двигунів внутрішнього згоряння на екосистему, зменшення обсягів використання продуктів нафтопереробки шляхом застосування біогазового палива.

Разом із розвитком виробництва біогазових палив виділяється новий напрямок в енергетиці – біоенергетика, метою якої є пошук шляхів отримання біопалива за зменшення навантаження на екосистему. Завданням біоенергетики є вивчення процесів переходу енергії в результаті життєдіяльності біологічних організмів. Джерелом отримання біогазів та інших біопалив є біомаса з побутових відходів та відходів

сільського господарства, лісообробки та інших виробництв [1].

Газові палива вже давно застосовуються на автомобільному транспорті як альтернативне паливо для бензинових двигунів. Спеціально під дані види газового палива було розроблено кілька поколінь газобалонного обладнання (ГБО), що дозволяє перевести транспорт на газ без значних конструктивних змін двигуна внутрішнього згоряння [3]. Окрім застосування стисненого і зрідженого природного та нафтового газів як додаткового джерела енергії для роботи ДВЗ розглядається біогаз – продукт переробки відходів сміттєзвалищ, основою якого є метан. Застосування такого біогазу в роботі двигунів внутрішнього згоряння дає можливість зробити підприємства, де виробляється цей газ, автономними та більш незалежними від використання вуглеводневих палив.

Хімічний склад газу може змінюватись залежно від насиченості сировини необхідними хімічними елементами, що, відповідно, впливає на тягово-динамічні характеристики двигунів внутрішнього згоряння [4]. Тому необхідно проаналізувати характеристики роботи двигунів внутрішнього згоряння для прогнозування ефективності їх роботи шляхом математичних підрахунків економічності та аналізу шкідли-

вих викидів ДВЗ за допомогою математичних моделей. Це дає змогу зекономити час та кошти на здійснення практичних експериментів і створити та вдосконалити системи живлення двигунів внутрішнього згоряння на біогазі.

Біогаз, як один з видів біопалива, є продуктом розкладання органічних відходів на мікробіологічному рівні з допомогою бактерій. Одним з джерел такого біогазу є тверді побутові відходи сміттєзвалищ, що пройшли попереднє сортування із видаленням усіх неорганічних елементів. Утворення біогазу відбувається в процесі «метанового бродиння», зміст якого полягає в анаеробному бродинні (без підведення кисню). При цьому метан є продуктом життєдіяльності бактерій, та різних біохімічних реакцій. Утворення біогазу має два основні етапи: розкладання біополімерів до стану мономерів з допомогою мікроорганізмів і переробка біомолекул в мономери.

Сьогодні частка альтернативних джерел енергії в світі становить лише 14%, з яких на біомасу припадає лише 1,8%. На практиці бачимо, що при коливаннях на енергоринках підвищуються ціни на енергоносії, що робить роль альтернативних палив в енергонезалежності держави ще більш значимою. За прогнозами, частка альтернативних енергоносіїв до 2040 року складе 48%, з яких на біомасу буде припадати 24% [2].

Мета роботи

В результаті зростання в Україні можливостей виробництва біогазового палива та можливості застосування його в двигунах внутрішнього згоряння, виникає необхідність проаналізувати ефективні показники робот ДВЗ на біопаливі для вдосконалення економічності та екологічності роботи двигунів внутрішнього згоряння. Оскільки біопаливо не має однорідного хімічного складу, необхідно проаналізувати характеристики ДВЗ, що змінюються в процесі роботи. Для цього потрібна оцінка роботи двигунів внутрішнього згоряння при використанні біогазу зі сміттєзвалищ, для вдосконалення його роботи до оптимального рівня.

Перспективи використання біогазу зі сміттєзвалищ

Базуючись на проведеному аналізі вмісту сміттєзвалищ з побутовими відходами, який було проведено науковцями Національної Академії Наук України, розроблено наукові методи отримання, збору, підготовки до застосування та використання біогазового палива.

Середні результати хімічного аналізу показують, що біогаз має високий вміст метану

(більш ніж 60 %), що дає нижчу теплоту згоряння палива 20-25 МДж/м³.

Використання твердих побутових відходів та їх продуктів як джерела палива може стати значною частиною енергетики України. Полігони з твердими побутовими відходами в Україні не мають значних перспектив з утилізації відходів, які щорічно надходять у кількостях 12-13 млн т. Полігони розташовуються по всій країні поблизу населених пунктів і функціонують в якості реакторів, виділяючи в атмосферу біогаз з великим вмістом метану – в об'ємі близько 1 млрд.м³/рік. На сьогоднішній день вивезення та захоронення побутових відходів є основним способом їх утилізації у всьому світі. Кількість полігонів щороку зростає на 3-6%. В різних країнах світу на одну особу припадає від 250 до 700 кг твердих побутових відходів на рік, а подекуди і до 1000 кг. В Україні налічується близько 4,5 тисяч полігонів твердих побутових відходів загальною площею 7,5 тисяч гектарів.

Під час захоронення органічних елементів, частка яких в загальній масі сміття, становить близько 50-70%, відбувається їх біоконверсія із залученням бактерій та мікроорганізмів. Як наслідок даного процесу, утворюється біогаз, компонентами якого є метан та діоксид карбону. 1 тонна побутових відходів виділяє 120-200 м³ біогазу. Відповідно з 12-13 млн тонн твердих побутових відходів, які кожного року доставляються на сміттєзвалища країни, в процесі анаеробної переробки всієї органічної маси повинно виділятися приблизно 800 тис. м³ метану. Оскільки метан має в 20 разів більший парниковий ефект, порівняно з діоксидом карбону, ця кількість біогазу відповідає 16 млн тонн вуглекислого газу, що викликає досить негативні наслідки місцевого та глобального характеру.

В багатьох розвинених країнах Європи та США проводиться активне отримання біогазу з продуктів твердих побутових відходів на полігонах. Крім того, в світі проводять заходи відповідно до програми Глобальної Метанової Ініціативи (Global Methane Initiative, GMI) Агенства із Захисту Навколишнього Середовища в США (EPA). Збирання, утилізація біогазу зі сміттєзвалищ дозволяє покращити екологічну ситуацію на місцях захоронення відходів, а також виробляти електричну енергію та теплоту для опалення будівель, що частково замінює викопні палива. Найкращими, з погляду EPA, технології з отримання газу подано в науковому виданні International Best Practices Guide for LFGE Projects-2012 [2].

Окрім серйозного впливу на процес глобального потепління, біогаз на полігонах твердих побутових відходів призводить до виникнення вибухонебезпечних та пожежонебезпечних умов на самих звалищах, на прилеглих територіях і в населених пунктах. Непідконтрольні пожежі на звалищах призводять до утворення та потрапляння в повітря токсичних сполук, а також особливо токсичних речовин – фуранів, які здатні переноситись на значні відстані.

Збирання біогазу зі сміттєзвалищ твердих побутових відходів та подальше використання з метою отримання енергії є одним з основних потреб сучасності при утилізації відходів. Це регламентується наказом Міністерства житлово-комунального господарства України № 435 від 01.12.2010 року «Про затвердження правил експлуатації полігонів побутових відходів». «... Полігон побутових відходів повинен бути оснащений системами захисту ґрунтових вод, знешкодження біогазу та фільтрату...». Вимоги щодо отримання та використання біогазу, що виділяється твердими побутовими відходами, було введено разом із затвердженням будівельного стандарту ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування».

Останнім часом проекти отримання та стилізування біогазу мають активний розвиток в Україні. Здійснено аналіз та обстеження сміттєзвалищ твердих побутових відходів, визначено склад газів звалищ, продуктивність свердловин, визначено потенціал видобування біогазу на сміттєзвалищах. Було прийнято Закон України № 5485-УІ від 20.11.2012 «Про внесення змін в Закон України «Про електроенергетику» щодо стимулювання виробництва електроенергії із альтернативних джерел енергії». Закон встановлює «зелений тариф» на електроенергію, яка була отримана від застосування газу сміттєзвалищ.

Для поширення технологій видобування та використання біогазу зі сміттєзвалищ в Україні, для початку, потрібно виконати декілька експериментальних проектів для демонстрації технічних характеристик та можливостей, які дає використання біогазу для економіки та екології.

Переваги біогазу зі сміттєзвалищ

Основними перевагами отримання та застосування біогазу з твердих побутових відходів є:

- зниження шкідливого впливу на екологію шляхом зниження об'ємів надходження в атмосферу парникового газу;

- покращення якості повітря на полігонах поблизу населених пунктів;

- зменшення та оптимізація площ, відведених під сміттєзвалища побутових відходів, контроль над їхнім розширенням;

- ефективне використання залишкової енергії, яку містять органічні елементи в твердих побутових відходах;

- зниження попиту на природний газ та інші викопні палива за рахунок застосування біогазу як їх альтернативи в двигунах внутрішнього згорання, а також в установках для обігріву приміщень і т.д.

Склад газів сміттєзвалищ

З метою визначення виділення біогазу науковцями Національної Академії Наук України було здійснено обстеження сміттєзвалищ різного рівня використання та термінів експлуатації в Києві, Сумах, Одесі, Івано-Франківську, Львові, Миколаєві та в інших містах України. Дослідження здійснювали на закритих ділянках, що перебувають в експлуатації – так званих картах, ділянках відкритих та рекультивованих (засипаних ґрунтом) із терміном від початку захоронень твердих побутових відходів до 50 років. На жаль, далеко не всі сміттєзвалища твердих побутових відходів України відповідають мінімальним вимогам з їхнього облаштування та рекультивації виведених з експлуатації ділянок.

Отримання біогазу із свердловин проводили за допомогою мобільного обладнання оригінальної конструкції, яке складається з електрогенератора потужністю 2 кВт а також вакуум-компресорного блоку відбору біогазу, що створює розрідження близько 2 кПа та здійснює заміри потоку газу, що надходить на факел. Дослідження показали, що для деяких сміттєзвалищ виробництво біогазу становить 350-2400 м³/год (на частку метану припадає 190-1200 м³/год). Подані значення, безперечно, є цікавими для комерційного добування та використання біогазу.

Середні результати хімічного аналізу біогазу наведено в таблиці 1. Ці дані свідчать про достатньо високий вміст метану (більш ніж 60 %) в біогазі, що відповідає виділенню теплоти 20-25 МДж/м³. Вміст вуглекислого газу склав 20-35 % об'ємних.

На основі висновків досліджень науковцями Національної Академії Наук України спільно з працівниками ТОВ «ЛНК» для кожного сміттєзвалища окремо було здійснено розрахунки обсягів виділення біогазу та можливих потужностей електростанцій із застосуванням ме-

Таблиця 1 – Складові біогазу при дослідженні полігонів твердих побутових відходів в м. Київ

Полігон	CH ₄ , %об.	CO ₂ , %об.	O ₂ , %об.	N ₂ , %об.	H ₂ S, %об.	H ₂ O, %об.
1	64,11	32,2	-	1,59	0,07	2,03
2	61,25	29,95	1,38	6,04	-	1,38
3	54,03	39,53	-	4,93	-	1,51
4	67,11	20,46	4,11	6,18	-	2,14
5	70,65	23,34	-	3,45	-	2,56

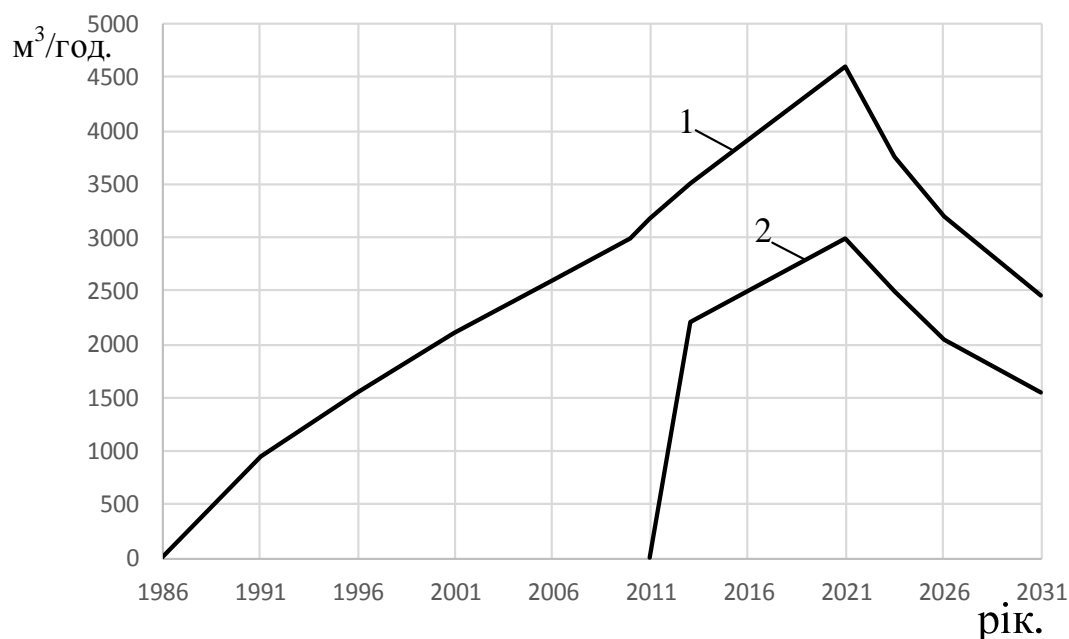


Рисунок 1 – Загальне виділення (1) та отримання (2) біогазу на Київському полігоні твердих побутових відходів № 5

тодів, що враховують типовий склад твердих побутових відходів, з їхнім розподілом на 4 типи, що мають різну швидкість біологічного розпаду. Програма розрахунків була розроблена американською компанією «SCS Engeneers», беручи за основу багаторічні дослідження на замовлення Агентства із Захисту Навколишнього Середовища США.

Для звалища твердих побутових відходів №5, що знаходиться поблизу Києва, було використано наступні базові вихідні дані для проведення розрахунків: початок захоронення твердих побутових відходів – 1986 рік; було завезено побутових відходів станом на 2012 рік 6100 тисяч тонн; середня глибина полігону – 16 метрів; розрахунковий термін закриття та рекультивації звалища – до 2020 року. Результати виділення та отримання біогазу на Київському полігоні №5 подано на рисунку 1.

На основі розрахунків, які були проведені відповідно до поданих вихідних даних Київського звалища твердих побутових відходів №5, було визначено потужність генераторного обладнання, яке повинно використовуватися для

повної утилізації отриманого біогазу. Було доведено, що на даному полігоні твердих побутових відходів можна реалізувати проект із будівництва біогазової електростанції із початковою розрахунковою потужністю 885 кВт (в перспективі розширення електростанції – до 2000 кВт). Поступово при розширенні потужність електростанції можна довести до 4600 кВт. Модульне виконання генераторних блоків дозволяє нарощувати отриману потужність пропорційно до кількості і потужності окремих блоків. В подальшому у міру виснаження потоку газу, частину модулів можна демонтувати та встановити на інших полігонах твердих побутових відходів.

Високий паливний потенціал біогазу полігонів твердих побутових відходів дає можливість ефективно використовувати його як альтернативу природному газу в енергетичних установках. Великий досвід інституту біогазу Національної Академії Наук України в галузі використання горючих газів, дозволяє розробити нові та вдосконалити старі технологічні процеси застосування біогазу.

Розрахунок основних техніко-економічних показників роботи ДВЗ при використанні біогазового палива

Для проведення процесу горіння до палива необхідно підвести теоретично розраховану кількість повітря, на яку значною мірою впливає склад газового палива. Для проведення розрахунків приймаємо такі об'ємні частки газів:

- CH_4 – 65 % об.,
- CO_2 – 35 % об.

Для розрахунку біогазу умовно переводять в зріджений стан.

Для рідкого палива необхідна теоретична кількість кисню розраховується за формулою:

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

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left[\frac{8}{3} C + 8H - O \right], \frac{\text{кг пов.}}{\text{кг палива}} \quad (2)$$

де C, H, O – частки карбону, гідрогену, кисню в біогазі, % мас.

Густина робочого заряду при початку робочого циклу двигуна:

$$\rho_0 = \frac{P_0 \cdot 10^6}{R \cdot T_0}, \quad (3)$$

де P_0 – атмосферний тиск, МПа,

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

T_0 – температура повітря, К.

Для того, аби розрахувати нижчу теплоту згорання біогазу за формулами 1-3, необхідно знайти елементний склад біогазу.

Елементний склад біогазу в масових відсотках визначають за формулами:

$$g_{CH_4} = \frac{\mu_{CH_4} \cdot r_{CH_4}}{\mu_{CH_4} \cdot r_{CH_4} + \mu_{CO_2} \cdot r_{CO_2}}, \quad (4)$$

$$g_{CO_2} = 1 - g_{CH_4},$$

де μ_i – молярна маса компонента біогазу, кг / моль;

r_i – об'ємний відсоток компонента в газі, % об.

Вміст карбону в компоненті палива знаходять за співвідношенням:

$$C_i = \frac{g_i \cdot 12n_i}{\mu_i}, \quad (6)$$

де n – кількість атомів карбону в даному компоненті палива.

Вміст карбону в біогазі:

$$C = C_{CH_4} + C_{CO_2} = \frac{g_{CH_4} \cdot 12n_{CH_4}}{\mu_{CH_4}} + \frac{g_{CO_2} \cdot 12n_{CO_2}}{\mu_{CO_2}}, \quad \% \text{ мас.} \quad (7)$$

Вміст гідрогену в біогазі:

$$H = H_{CH_4} = \frac{g_{CH_4} \cdot m_{CH_4}}{\mu_{CH_4}}, \quad \% \text{ мас.} \quad (8)$$

де m_i – кількість атомів гідрогену в метані.

Вміст кисню

$$O = \frac{g_{CO_2} \cdot 16p}{\mu_{CO_2}}, \quad \% \text{ мас.} \quad (9)$$

де p_i – кількість атомів кисню в молекулі CO_2 .

За умови відомого складу біопалива вищу та нижчу теплоту згорання рідкого палива розраховуємо за наступними формулами:

вища теплота згорання:

$$Q_v = 339C + 1256H - 109(O - S), \quad \text{МДж/кг} \quad (10)$$

нижча теплота згорання:

$$Q_n = Q_v - 25,12(9H + W), \quad \text{Дж/кг}; \quad (11)$$

де W – вміст вологи, % масових.

Найголовнішими експлуатаційними параметрами двигунів внутрішнього згорання є: ефективна потужність, крутний момент, питома ефективна витрата палива, а також годинна витрата палива.

Ефективна потужність – це потужність двигуна внутрішнього згорання, яка передається виконавчим механізмам безпосередньо або з допомогою силової передачі та розраховується за формулою

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_h \cdot n \cdot i}{30\tau}, \quad \text{кВт} \quad (12)$$

де P_e – ефективний тиск всередині циліндра ДВЗ, Па;

V_h – робочий об'єм ДВЗ, м³;

n – кількість обертів колінчастого валу, хв⁻¹;

i – кількість циліндрів двигуна;

τ – кількість тактів в робочому циклі двигуна.

Крутний момент визначають за формулою:

$$M_k = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot N_0}{\pi \cdot n}, \quad \text{Н·м} \quad (13)$$

Питома ефективна витрата палива розраховується за формулою

$$g_e = \frac{G_T}{N_e}, \quad (14)$$

де G_T – годинна витрата палива.

На основі дослідження було отримано значення змін потужності, крутного моменту, питомої ефективної витрати палива та годинної витрати палива в залежності від кількості обертів колінчастого валу двигуна. На графіках (рис. 2-5) наведено результати проведених розрахунків даних технічних характеристик дви-

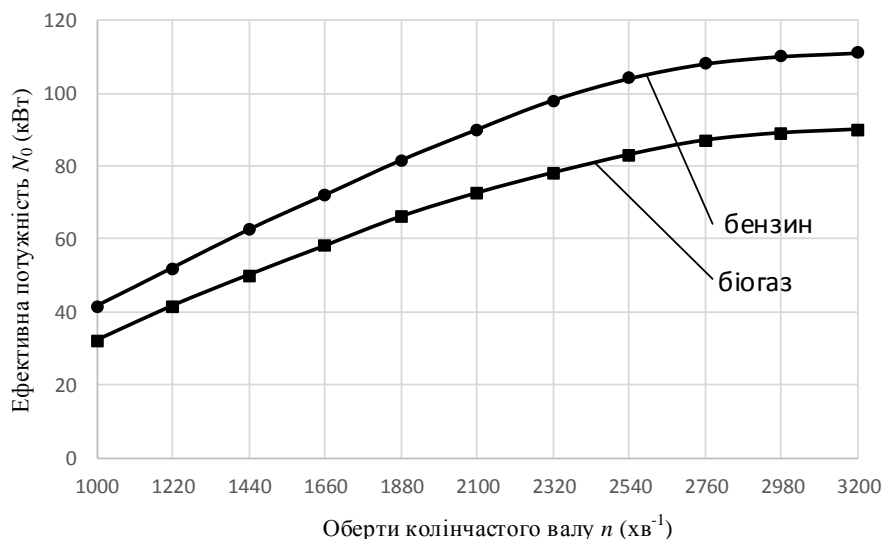


Рисунок 2 – Залежність ефективної потужності двигуна від числа обертів колінчастого валу двигуна при роботі на біогазі зі сміттєзвалищ та бензині

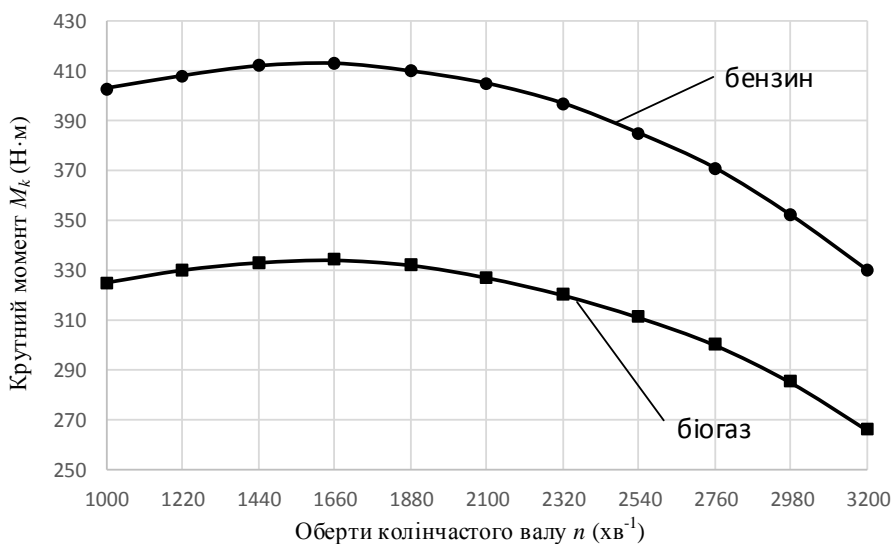


Рисунок 3 – Залежність крутного моменту від кількості обертів колінчастого валу двигуна при його роботі на біогазі та бензині

гуна внутрішнього згоряння автомобіля ЗІЛ-130 при роботі на біогазі з твердих побутових відходів та, для порівняння, на етилованому бензині.

Розрахунки параметрів проведені з допомогою програми Дизель РК [7] для двигуна ЗІЛ-130 при використанні біогазу складу з табл. 1 (полігон №2) і стандартного бензину А-92.

Проаналізувавши графіки, бачимо, що ефективна потужність двигуна внутрішнього згоряння, а також його крутний момент при роботі на біогазі нижчі на 25% за ефективну потужність та крутний момент при роботі на бензині, що, відповідно, знижує тяговошвидкісні характеристики автомобіля. Це підвищує питому ефективну витрату палива та на 100% годинну витрату палива.

Висновки

1) Біогаз з сміттєзвалищ має низку переваг перед паливом нафтового походження і, враховуючи досвід передових країн, може стати альтернативним паливом для ДВЗ. Україна має великі резерви з видобування біогазу зі сміттєзвалищ.

2) Оскільки теплота згоряння біогазу зі сміттєзвалищ, враховуючи його склад, нижча на 40÷42%, ніж у традиційного палива з нафти, ефективна потужність двигуна ЗІЛ-130 знижується на 18÷20%, крутний момент – на 20÷22%, питома ефективна витрата пального зростає на 150÷170%, а годинна витрата – на 50÷55%. Зниження ефективних показників спостерігається здебільшого зі збільшенням обертів двигуна.

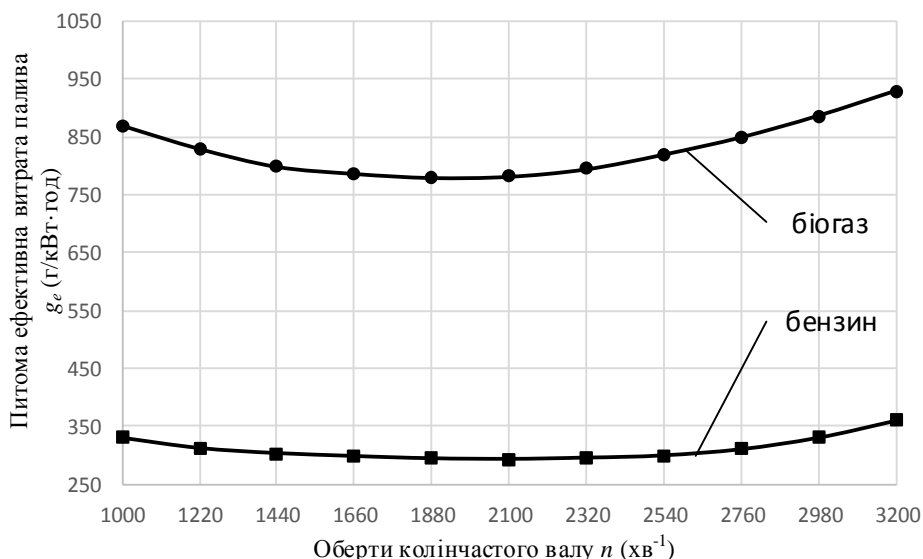


Рисунок 4 – Залежність питомої ефективної витрати палива від кількості обертів колінчастого валу двигуна при його роботі на біогазі та бензині

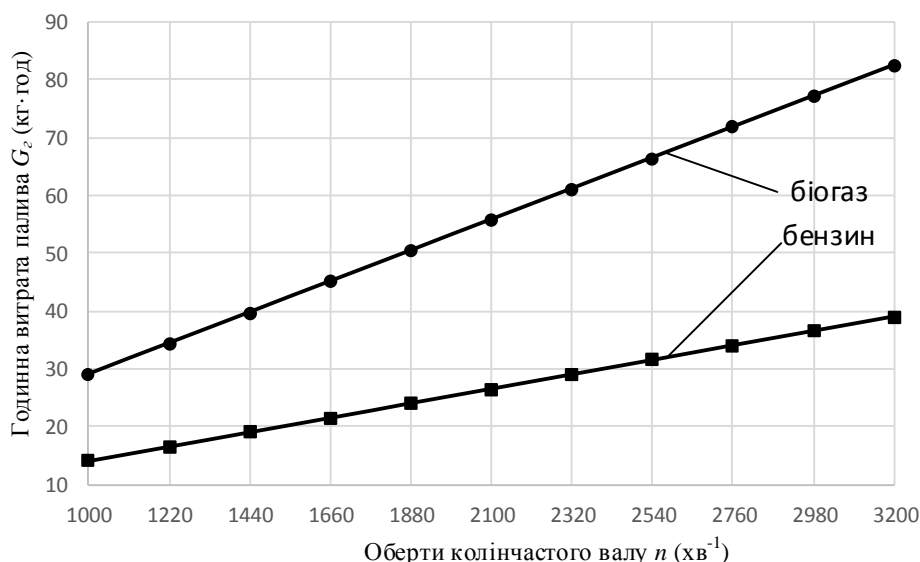


Рисунок 5 – Залежність годинної витрати палива від кількості обертів колінчастого валу двигуна при його роботі на біогазі та бензині

3) Для покращення техніко-експлуатаційних показників роботи ДВЗ на біогазі з сміттєзвалищ особливо актуальним є питання очищення біогазу.

Література

1. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Олейник Е.Н. Перспективы производства тепловой энергии из биомассы в Украине. *Промышленная теплотехника*. 2013. Т. 35. № 5. С. 48-55.
2. European Biogas Association. URL: <http://Europeanbiogas.eu>
3. Генкин К.И. Газовые двигатели. *Машиностроение*. 1977. 196 с.

4. Мельник В.М. Економічна ефективність використання альтернативних палив. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2006. № 1(18). С. 56-58.
5. Гутаревич Ю.Ф., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мороз О.Г. Оцінка ефективності додавання спиртових сполук до бензину. *Автошляховик України*. 2004. № 3. С. 17-19.
6. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.С., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни. Київ : Арістей, 2006. 453 с.
7. Кулешов А.С. Программа расчета и оптимизации двигателей внутреннего сгорания ДИЗЕЛЬ-РК. М. : МТУ им. Баумана, 2004. 123 с.

References

1. Geletuha G.G., Zheleznaya T.A., Oleynik E.N. Perspektivy proizvodstva teplovy energii iz biomassy v Ukraine. *Promyshlennaya teplotekhnika*. 2013. T. 35. No 5. P. 48-55.
2. European Biogas Association. URL: <http://Europeanbiogas.eu>
3. Genkin K.I. Gazovyye dvigateli. *Mashinostroyeniye*. 1977. 196 p.
4. Melnyk V.M. Ekonomichna efektyvnist vykorystannia alteratyvnykh palyv. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2006. No 1(18). P. 56-58
5. Hutarevych Yu.F., Hovorun A.H., Korpach A.O., Moroz O.H. Otsinka efektyvnosti dodavannia spyrtovykh spoluk do benzynu. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*. 2004. No 3. P. 17-19.
6. Abramchuk F.I., Hutarevych Yu.F., Dolhanov K.S., Tymchenko I.I. Avtomobilni dvyhuny. Kyiv : Aristei, 2006. 453 p.
7. Kuleshov A.S. Programma rascheta i optimizatsii dvigateley vnutrennego sgoraniya DIZEL-RK. M. : MTU im. Baumana, 2004. 123 p.