

ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДВИГУНА ФОЛЬКСВАГЕН 1,4 У ПРОЦЕСІ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА БІОГАЗІ

Т. Й. Войцехівська, В. М. Мельник, А. Р. Сумер, М. М. Штих

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0432) 727148,
e-mail: t a n y a 6 4 0 3 0 2 @ g m a i l . c o m*

За останні роки в Україні та світі спостерігається стійке зростання використання стисненого природного газу (СПГ) в автомобілях. Основною причиною такої уваги до газового моторного палива є його низька вартість порівняно з бензином і дизельним паливом. Цьому сприяє і розгалужена мережа автогазо-наповнювальних компресорних станцій (АГНКС) ДП "Укртрансгаз", яка на сьогодні налічує близько 150 станцій і постійно розширюється. Сьогодні мережа АГНКС обслуговує 35 тисяч автомобілів, що виводить Україну на сьоме місце у світі за кількістю автомобілів, які працюють на СПГ. Використання природного газу на основі метану як альтернативного палива в Україні почалося вже давно. На цей газ активно переходить автомобільний транспорт. Нині у країні проводиться потужна рекламна кампанія з переведення автомашин зі звичайного пального на природний газ. Економічна вигода від такого переходу очевидна. Природний газ виявився майже вдвічі дешевшим за пропан, який значно вигідніший за бензин. На відміну від бензину і дизельного палива, природний газ не містить отруйних домішок і добавок, має широкі межі запалювання. Відхідні гази двигунів, що працюють на природному газі, містять незначну кількість нормованих шкідливих викидів. СПГ, у тому числі і біогаз, горить повільніше бензину, знижуючи навантаження на циліндро-поршневу групу, двигун працює «м'якше» і тихіше. Поєднання цих факторів забезпечує подвійну (і більше) економію експлуатаційних витрат, подовжує термін служби двигуна на 30-40 %, масла й свічок – удвічі, і в наслідок значно знижують ремонтні витрати. Оптимізація робочого процесу двигуна, що працює на газі (підвищення ступеня стиску двигуна до 10-11; установка сучасної системи запалювання зі зміненими, оптимізованими під газове паливо характеристиками на максимальних й змінних оборотах двигуна) дозволяє забезпечити максимальну потужність двигуна при збереженні економічності й екологічних параметрів на високому сучасному рівні.

Ключові слова: бензиновий двигун, біогаз, екологія, токсичність, економія, потужність, економічність.

За последние годы в Украине и мире наблюдается устойчивый рост использования сжатого природного газа (СПГ) в автомобилях. Основной причиной такого внимания к газовому моторному топливу является его низкая стоимость по сравнению с бензином и дизельным топливом. Этому способствует и разветвленная сеть автогазонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) ГП "Укртрансгаз", насчитывающая на сегодня около 150 станций и постоянно расширяющаяся. Сегодня сеть АГНКС обслуживает свыше 35000 автомобилей, что выводит Украину на седьмое место в мире по количеству автомобилей, работающих на СПГ. Использование природного газа на основе метана как альтернативного топлива в Украине началось уже давно. На этот газ активно переходит автомобильный транспорт. Сейчас в стране проводится мощная рекламная кампания по переводу автомашин из обычного горючего на природный газ. Экономическая выгода от такого перехода очевидна. Природный газ оказался почти вдвое дешевле пропана, значительно выгоднее бензина. В отличие от бензина и дизельного топлива, природный газ не содержит ядовитых примесей и добавок, имеет широкие пределы зажигания. Выхлопные газы двигателей, работающих на природном газе, содержат незначительное количество нормированных вредных выбросов. СПГ, в том числе и биогаз, горит медленнее бензина, снижая нагрузку на циліндро-поршневую группу; двигатель работает «мягче» и тише. В сумме эти факторы обеспечивают двойную (и более) экономию эксплуатационных расходов, продлевают срок службы двигателя на 30-40 %, масла и свечей – в два раза, и в последствии значительно снижают ремонтные затраты. Оптимизация рабочего процесса двигателя, работающего на газе (повышение степени сжатия двигателя до 10-11; установка современной системы зажигания с измененными, оптимизированными под газовое топливо характеристиками на максимальных и переменных оборотах двигателя) позволяет обеспечить максимальную мощность двигателя при сохранении экономичности и экологических параметров на высоком современном уровне.

Ключевые слова: бензиновый двигатель, биогаз, экология, токсичность, экономия, мощность, экономичность.

In recent years, Ukraine and the world have seen a steady increase in the use of compressed natural gas (LNG) in cars. The main reason for such attention to gaseous motor fuel is its low cost compared to gasoline and diesel fuel. This is also facilitated by the extensive network of autogas filling compressor stations (CNG stations) of

Ukrtransgaz, which today is about 150 stations and is constantly growing. Today, the network of CNG stations in the country is used by 35,000 cars, which allows Ukraine to rank seventh in the world in terms of the number of cars running on LNG. The use of methane-based natural gas as an alternative fuel in Ukraine has long begun. Road transport is actively switching to this gas. Currently, the country is conducting a powerful advertising campaign to convert cars from conventional fuel to natural gas. The economic benefits of such a transition are obvious. Natural gas turned out to be almost twice cheaper than propane, which is much cheaper than gasoline. Unlike gasoline and diesel fuel, natural gas does not contain toxic impurities and additives, has a wide range of ignition. Exhaust gases from natural gas engines contain a small amount of normalized harmful emissions. LNG, including biogas, burns more slowly than gasoline, reducing the load on the cylinder-piston group, the engine runs "softer" and quieter. In total, these factors provide double (and more) savings in operating costs, extend the life of the engine by 30-40%, oil and spark plugs - twice, and as a result significantly reduce repair costs. Optimization of the working process of the engine running on gas (increasing the degree of compression of the engine to 10-11; installation of a modern ignition system with modified, optimized for gas fuel characteristics at maximum and variable engine speeds) allows to ensure maximum engine power while maintaining efficiency and environmental parameters. high modern level.

Keywords: gasoline engine, biogas, ecology, toxicity, economy, power, efficiency.

Постановка проблеми

Використання природного газу, основою якого є метан, як альтернативного палива в Україні почалося вже давно, і активність переходу автомобільного транспорту зі звичайного пального на природний газ лише зростає. Економічна вигода від такого переходу очевидна: природний газ виявився значно дешевшим за всі існуючі види автомобільного пального.

Біогаз має ті ж характеристики, що і природний газ. Тому його можна вільно застосовувати в автомобілях, двигун яких пристосований для роботи на природному газі.

Вигода від виробництва та застосування біогазу:

- зниження енергетичної напруженості в країнах, де відсутні природні джерела енергії;
- вирішення проблем з утилізацією органічних відходів;
- різке зниження концентрації шкідливих речовин у викидах газах автомобілів;
- збільшення терміну служби двигунів внутрішнього згоряння автомобілів за рахунок утворення незмивної мастильної плівки на його деталях.

У всьому світі виробництву біогазу приділяється величезна увага (США, країни Західної Європи, Китай тощо), оскільки він вважається паливом майбутнього, адже це паливо, що добувається практично з нічого, а скоріше з того, що становить велику загрозу для людства – з відходів.

Аналіз літературних джерел

До основних переваг використання природного газу як моторного палива належать його фізико-хімічні властивості. Так, на 85-99 % природний газ складається з метану (CH_4), має високу теплоту згоряння стехіометричної газоповітряної суміші та антидетонаційну стійкість, оскільки його октанове число становить понад

105-110 од. (згідно моторного методу) та досить добре змішується з повітрям [1-4].

На відміну від бензину і дизельного палива, природний газ не містить отруйних домішок і добавок, має широкі межі запалювання. Відхідні гази двигунів, що працюють на природному газі, містять незначну кількість нормованих шкідливих викидів [4-6].

Типи та основні технічні характеристики двигунів та силових агрегатів, на яких може використовуватися природний газ, наведено в [3, 6].

Кожний із відомих типів двигунів та способів їх переобладнання мають свої переваги і недоліки. Їхній огляд наводиться в [1, 3-7].

Суттєвий вплив на енергетичні й екологічні показники роботи газових двигунів чинить вибір способу регулювання потужності, оскільки для компенсації втраченої потужності при переході на газове паливо необхідно збільшувати його циклову подачу [8-11].

Як наслідок, у відхідних газах ДВЗ різко зростає кількість CO і NO_x . Кількість викидів CnHm при цьому не збільшується [12-15].

Користуючись методиками, наведеними в [13-16], було одержано показники ефективності роботи двигунів на бензиновому паливі та на газі, а також виявлено недоліки такого виду палива:

- віддаленість підприємств виготовлення палива від джерела заправки;
- малий пробіг автомобілів на газовому паливі;
- велика вартість газової системи живлення двигуна;
- втрата потужності двигуна при роботі на газі;
- важкість пуску в зимовий період та ін.

Але попри такі недоліки газового палива, майже у 20 країнах світу прийняті програми щодо розширення використання природного

газу на транспорті, створена міжнародна асоціація з власників автомобілів, які працюють на стисненому природному газі, що координує роботу у цій галузі [16].

У США спостерігається ріст газобалонних автомобілів на 2005р. до 1 млн., а у Канаді до 1,5 млн. автомобілів. Слід зауважити, що уряди США, Канади, Італії, Австралії, Іспанії, Франції підтримують застосування природного газу як пального для автомобілів, проводячи ефективну кредитну та пільгову податкову політику [16-20].

За даними Міжнародного енергетичного агентства, 18,1% первинної енергії у світі в 2017 році було вироблено з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

З 2010 року по 2017 рік споживання енергії з ВДЕ у Європейському союзі збільшилося удвічі – 22,8% від загального кінцевого енергоспоживання ЄС-27.

Одним з важливих секторів ВДЕ у світі є виробництво та енергетичне використання біогазу.

Лідером у виробництві біогазу у світі є Євросоюз загалом і Німеччина зокрема. Загальна кількість біогазових установок (БГУ) у Європі перевищує 11 тис, з яких 7,2 тис в Німеччині.

Загальне виробництво біогазу у ЄС-25 в 2010 році становило 10,9 млн тонн (еквівалент 13,5 млрд кубометрів природного газу), з яких 6,7 млн тонн вироблено в Німеччині, при цьому річний приріст становив 31,3 % [21].

У 2017 році в ЄС 56,7 % біогазу було вироблено на біогазових установках, що використовують як сировину відходи агропромислового комплексу і спеціально вирощену рослинну сировину, близько третини біогазу отримано на полігонах твердих побутових відходів – ТПВ, решту 12 % – на станціях очищення стічних вод.

Біогаз переважно використовувався для виробництва електроенергії та тепла. У 2017 році виробництво електроенергії з біогазу в ЄС зросло порівняно з 2016 роком на 12 % (до 25,4 ТВт/год). За той же час продаж тепла, виробленого з біогазу, підприємствам та тепловим мережам зріс на 16 % (до 2,2 млн тонн).

У балансі виробництва електроенергії з ВДЕ у ЄС електроенергія з біогазу становить 4,5 %, а в балансі виробництва електроенергії з біомаси – 24,4 % [21].

За прогнозом Єврокомісії щодо структури виробництва електроенергії з ВДЕ в ЄС у 2020 році частка струму з біогазу становитиме 8 %, перевищивши внесок малої гідроенергетики, геотермальної, сонячної енергетики та електроенергії з ТПВ.

Останніми роками почали стрімко розвиватися проекти з виробництва очищеного біогазу з подальшим закачуванням в мережі ПГ.

У 2017 році в ЄС налічувалося понад 200 установок з виробництва біогазу, понад 150 з яких постачали біогаз у газові розподільчі мережі. На інших біогаз використовувався як моторне паливо для автомобілів.

Загальне виробництво біогазу у вісьмох країнах ЄС у 2016-2017 роках становило 0,5 млрд кубометрів на рік.

Великі обсяги виробництва біогазу та біогазу стали наслідком додаткового використання як сировини спеціально вирощених рослинних культур, переважно кукурудзи на силос. Наприклад, у Німеччині для цих цілей задіяли близько 1 млн га, що становить 8,3 % від загальної площі орних земель.

За оцінками аналітиків, ринок біогазу продовжить стрімко розвиватися, заміщуючи інші енергоносії у загальній структурі енергетичного балансу країн.

В Україні є поодинокі приклади впровадження біогазових технологій. Перша установка була побудована 1993 року на свинофермі комбінату "Запоріжсталь". Наступними стали компанії "Агро-овен", "Еліта", "Українська молочна компанія".

Біогазова установка на комбінаті "Запоріжсталь" була впроваджена для очищення стоків та зменшення споживання енергії. Теплова утилізація біогазу реалізується на власні потреби свинокомплексу комбінату.

На свинокомплексі корпорації "Агро-овен" електроенергія, що виробляється у біогазовій установці, споживається на власні потреби установки та підприємства. При цьому когенераційна установка не підключена до загальної електромережі.

Експлуатація БГУ компанії "Еліта" призупинена 2011 року через нерентабельність роботи за відсутності "зеленого" тарифу (ЗТ). Єдиною біогазовою установкою, підключеною до мережі, є БГУ на фермі "Української молочної компанії" [21].

У вересні 2011 року почалося будівництво біогазової установки на базі свинокомплексу в селі Копанки Івано-Франківської області.

У 2012 році "Миронівський хлібопродукт" почав будувати біогазову установку на птахофабриці "Оріль-лідер" у Дніпропетровській області. Планує реалізувати амбітну біогазову програму з тридцяти БГУ компанія "Укрлендфармінг".

Агропромхолдинг "Астарта-Київ" у 2012 році анонсував будівництво установки на Гло-

Таблиця 1 – Потенціал виробництва біогазу в АПК України [21]

Вид діяльності	Кількість підприємств в Україні	Загальний обсяг основних відходів, тис тонн	Потенціал виробництва біогазу із загального обсягу відходів і продукції, млн кубометрів на рік
Всього в Україні	11 667	39 727	9 543
Цукрові заводи	60	23 264	976
Пивзаводи	51	1 017	122
Спиртові заводи	58	2 705	117
Ферми ВРХ	5 079	15 432	386
Свиноферми	5 634	5 657	160
Птахофабрики	785	4 722	378
Силос кукурудзи			7 406

бинському цукровому заводі (Полтавська область) за рахунок кредиту ЄБРР.

Таким чином, впровадження біогазових технологій залишається справою флагманів АПК, що мають власні ресурси для роботи в умовах слабкого фінансового ринку і відсутності інвестицій.

Працюють також біогазові установки на полігонах у Львові, Кременчуці, Києві, на Борницькій станції аерації.

Проект на Київському полігоні № 5, реалізований компанією ЛНК, є найбільш успішним українським біогазовим проектом. На полігоні працює лінійка з п'яти біогазових двигунів компанії TEDOM встановленою потужністю 177 кВт кожний.

У 2012 році вироблено, поставлено в мережу і продано за економічно обґрунтованим тарифом, визначеним НКРЕ, 3,26 ГВт/год електроенергії.

Компанія нарощує потужність цього проекту. Так, у серпні 2013 року введено в експлуатацію газопоршневої установки виробництва компанії GE Jenbacher потужністю 1 063 кВт.

Крім цього, у червні 2013 року ЛНК ввела в експлуатацію таку ж газопоршневую установку на полігоні ТПВ в Борисполі. З травня 2013 року ЛНК отримала можливість продавати струм, вироблений з біогазу на Бориспільському полігоні, за "зеленим" тарифом – 134,46 копійок за кВт/год.

АПК України, виробляючи значні обсяги органічних відходів, володіє ресурсами для виробництва біогазу, здатними замінити 1,5 млрд кубометрів газу на рік. При розвитку галузі і широкому використанні рослинної сировини цей потенціал може бути доведений до 18 млрд кубометрів у перерахунку на природний газ.

У першому випадку передбачається використовувати 6% орних земель в Україні для ви-

рошування кукурудзи на біогаз з консервативною величиною врожайності 30 тонн на га. Другий варіант, з вищим прогнозом, передбачає використання 7,9 млн га вільних від посівів земель з урахуванням підвищення врожайності.

Значна частка потенційного ринку БГУ в Україні може бути освоєна до 2030 року. Необхідною передумовою реалізації даних проектів на першому етапі є введення економічно обґрунтованого ЗТ для електроенергії з біогазу.

Для реалізації ефективних енергетичних біогазових проектів важливо стимулювати виробництво електроенергії з біогазу, отриманого не тільки з відходів біомаси, а й із спеціально вирощеної рослинної сировини.

Паралельно з виробництвом струму доцільно впроваджувати виробництво біогазу для прямого заміщення природного газу або більш ефективної енергетичної утилізації біогазу при виробництві електроенергії та тепла на ДВЗ.

І хоча існують наступні законодавчі бар'єри на шляху розвитку виробництва енергії з біомаси, але розвиток біогазових технологій в Україні дозволить у перспективі виробляти щорічно 1,5-6 млрд кубометрів еквіваленту ПГ та забезпечить його використання у системах живлення ДВЗ.

Отже, з вище наведеного видно наскільки перспективним є використання біогазу, СПГ та СНГ на двигунах з бензиновими та дизельними системами живлення, а тому досить актуальними є питання дослідження екологічних показників ДВЗ у процесі використання біогазу.

Уточнена методика розрахунку робочого процесу бензинового двигуна в процесі роботи на біогазі

В даній роботі був використаний програмний комплекс Дизель-РК [22], що дозволяє на основі вихідних даних за допомогою напівем-

піричних залежностей розрахувати показники робочого процесу.

Для розрахунку емісії оксидів азоту в програмі використовується 18-компонентна модель проф. В.А. Звонова [23]. В основі методики розрахунку лежить наступне:

- утворення оксидів азоту в зоні продуктів спалювання відбувається за ланцюговим принципом, основні реакції якого описуються схемою Зелдовича [24];
- для визначення температур заряду використовується зонна модель;
- на кожному кроці здійснюється розрахунок рівноважного складу в зоні продуктів згорання для 18 компонентів;
- розрахунок утворення оксидів азоту проводиться за кінетичним рівнянням.

Дослідження токсичності двигуна Фольксваген 1,4 в процесі його експлуатації на біогазі

Для дослідження впливу біогазу на екологічні показники бензинового двигуна в режимі холостого ходу та різних режимах навантаження проведено випробування двигуна Фольксваген 1,4, коротка технічна характеристика якого подана у табл. 2.

Таблиця 2 – Коротка технічна характеристика двигуна Фольксваген 1,4

Поз.	Найменування параметрів	Значення параметрів
1	Модель двигуна	1J1
2	Рік випуску	1999
3	Тип двигуна	Бензиновий з впорскуванням
4	Паливо	А-95
5	Тип паливної системи	Інжекторна
6	Діаметр циліндра, мм	76
7	Хід поршня, мм	75,5
8	Ступінь стискання	10,5
9	Робочий об'єм двигуна, см ³	1390
10	Мінімальна частота обертання, хв ⁻¹	830
11	Максимальна частота обертання, хв ⁻¹	5600
12	Максимальний крутний момент, Нм	126/3800
13	Номінальна потужність, кВт	55/5000

Для забезпечення порівняльної оцінки крім досліджень біогазу проводили окремі дослідження на бензині А-95 та СПГ.

Щоб забезпечити всебічне дослідження утворення NO_x при використанні різних видів палива та здійснити їх порівняльну оцінку, опробовано різні режими роботи ДВЗ.

Перший етап досліджень проведено за умови зміни коефіцієнта надлишку повітря в діапазоні $\alpha=0,8...1,1$ при частоті обертання колінчастого валу 4500 об/хв.

У залежності від α (співвідношення кількості повітря і палива) може бути кілька видів паливної суміші. Якщо повне згорання відбувається з розрахунковою кількістю повітря, то коефіцієнт надлишку повітря дорівнює одиниці ($\alpha=1$) суміш називають нормальною, коли більше одиниці ($\alpha>1$) – суміш бідна, а менше одиниці ($\alpha<1$) – багата. При значеннях, близьких до одиниці, – збіднена або збагачена.

Режими роботи двигуна на бідних і на багатих сумішах не вигідні. У першому випадку паливна суміш насичується великою кількістю інертного азоту і зайвим киснем; швидкість і температура горіння знижуються, двигун не розвиває потрібної потужності. У другому – кисню недостатньо. Утворюються продукти неповного згорання палива, збільшується кількість нагароутворення, двигун димить, витрата палива зростає, а потужність знижується.

Склад горючої суміші значно впливає на екологічні показники двигуна.

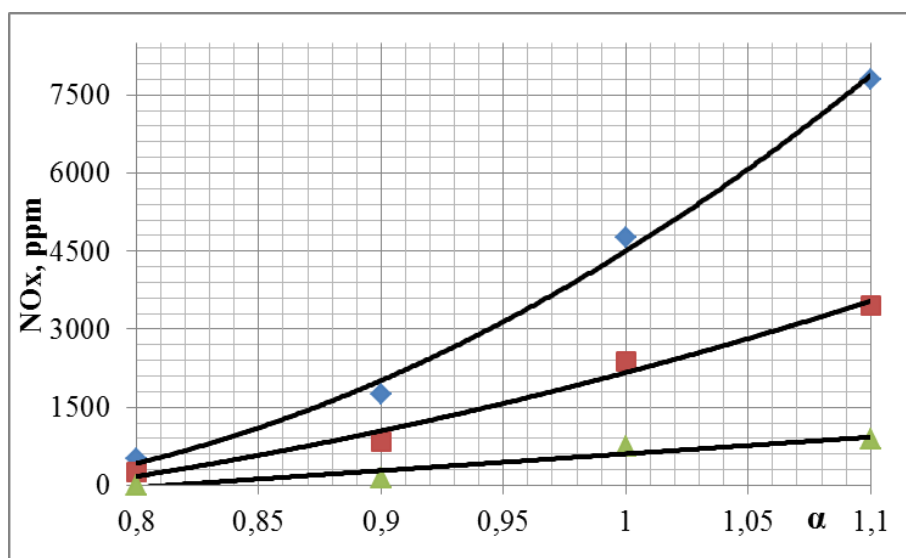
Збіднення горючої суміші знижує потужність двигуна і економічність його роботи, збільшує витрату палива, зменшує виділення теплоти, яка витрачається на корисну роботу, за рахунок винесення її інертним азотом і вільним киснем.

Максимальну потужність розвиває бензиновий двигун, працюючи на багатій суміші при $\alpha = 0,8...0,9$. Економічність роботи двигуна при цьому знижується. Зайве збагачення робочої суміші викликає неповне згорання палива, падіння потужності двигуна, збільшення витрати палива, а продукти згорання містять вуглеводні, оксид вуглецю, водень.

Оптимальне значення коефіцієнта надлишку повітря для бензинових двигунів становить $\alpha = 1,05...1,15$, іноді $\alpha = 0,90...0,95$; у газових двигунах $\alpha = 1,03...1,08$.

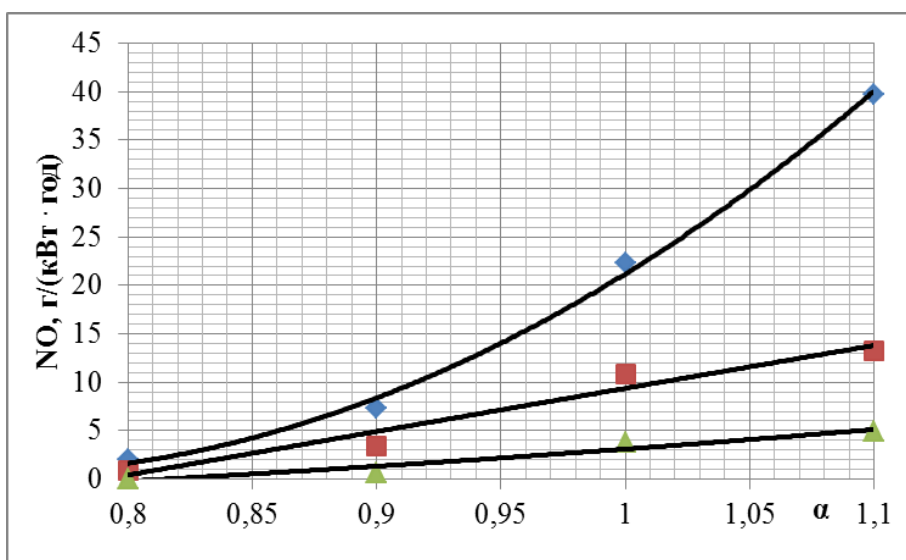
За результатами досліджень впливу коефіцієнта надлишку повітря на токсичність двигуна побудовано залежності рис. 1, 2.

Аналіз отриманих результатів підтверджує, що мінімальна концентрація NO_x у відпрацьованих газах та найменші викиди NO двигуна Фольксваген 1,4 забезпечуються у випадку використання біогазу з коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha=0,8$.



◆ - бензин А-95; ■ - СПГ; ▲ - біогаз

Рисунок 1 – Зміна концентрації NO_x у відпрацьованих газах двигуна Фольксваген 1,4 залежно від коефіцієнта надлишку повітря



◆ - бензин А-95; ■ - СПГ; ▲ - біогаз

Рисунок 2 – Вплив коефіцієнта надлишку повітря на кількість викидів NO двигуном Фольксваген 1,4

Другий етап – дослідження, виконані при коефіцієнті надлишку повітря 1,0 на змінній частоті обертання колінчастого від 800 до 1400 об/хв.

Дослідження відомих вчених, таких як Гутаревич Ю.Ф., Говорущенко М.Я., Матейчик В.П., Редзюк А.М., Звонов В.А. та інших щодо засобів і методів зменшення токсичності ВГ, дозволили встановити, що до цього часу не досліджувалася можливість оцінки токсичності відпрацьованих газів при роботі двигуна на холостому ходу у процесі випробування його за європейським циклом. Авторами проведено

аналіз впливу режимів роботи ДВЗ в реальних експлуатаційних умовах на показники паливної економічності та токсичності викидів автомобіля, проаналізовано існуючі їздові цикли і вибрано оптимальний для проведення випробувань, а в нашому випадку – це забезпечення відповідної частоти обертання колінчастого вала.

За результатами досліджень частоти обертання колінчастого вала на кількість викидів NO двигуном Фольксваген 1,4 побудовано залежності (рис. 3, 4).

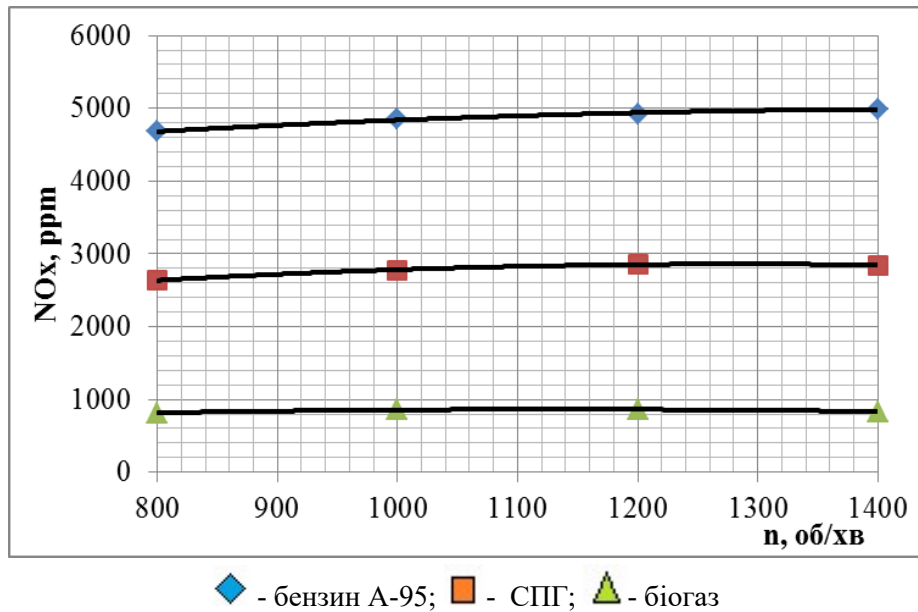


Рисунок 3 – Зміна концентрації NO_x у відпрацьованих газах двигуна Фольксваген 1,4 залежно від частоти обертання колінчастого вала

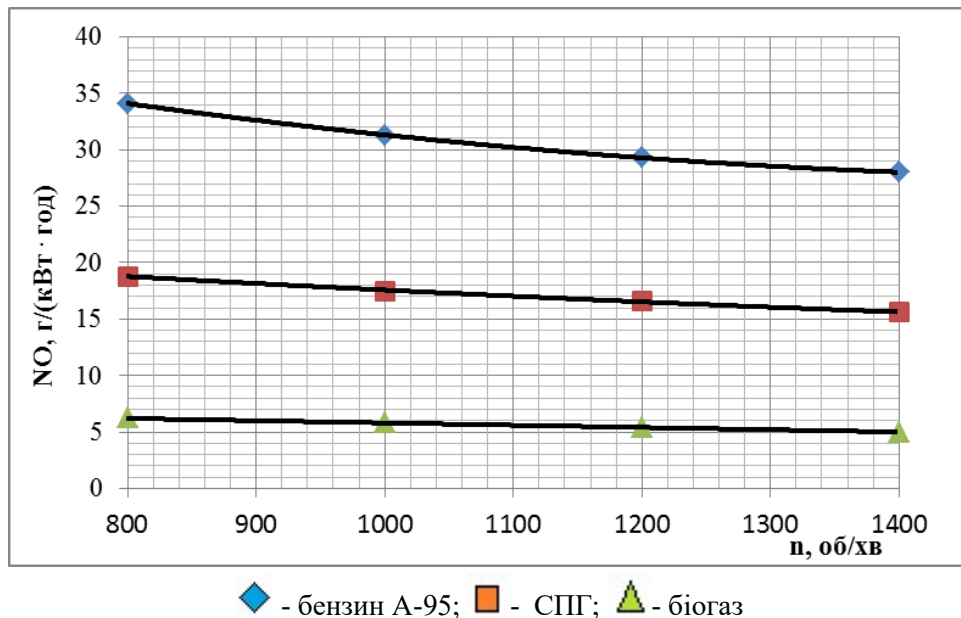


Рисунок 4 – Вплив частоти обертання колінчастого вала на кількість викидів NO двигуном Фольксваген 1,4

З результатів дослідження встановлено, що мінімальна концентрація NO_x у відпрацьованих газах та найменші викиди NO двигуна Фольксваген 1,4 забезпечуються у випадку використання біогазу. Також встановлено, що токсичність двигуна зменшується за зростання частоти обертання колінчастого вала.

Третій етап – дослідження проводились за коефіцієнта надлишку повітря 1,0 на змінній частоті обертання колінчастого від 4500 об/хв при зміні кута випередження запалювання від 15 до 30°.

Як, правило, зміну кута випередження запалювання виконують до моменту отримання на даному режимі максимального крутного моменту M_k (Н·м) або максимальної потужності. При надто ранньому куті випередження запалювання своєчасність тепловиділення поліпшується, але тиск різко збільшується і навіть може досягнути максимального значення до завершення ходу стискування. Унаслідок цього зростає негативна робота наприкінці стискування, знижується потужність і погіршується паливна економічність двигуна, підвищується токсичність.

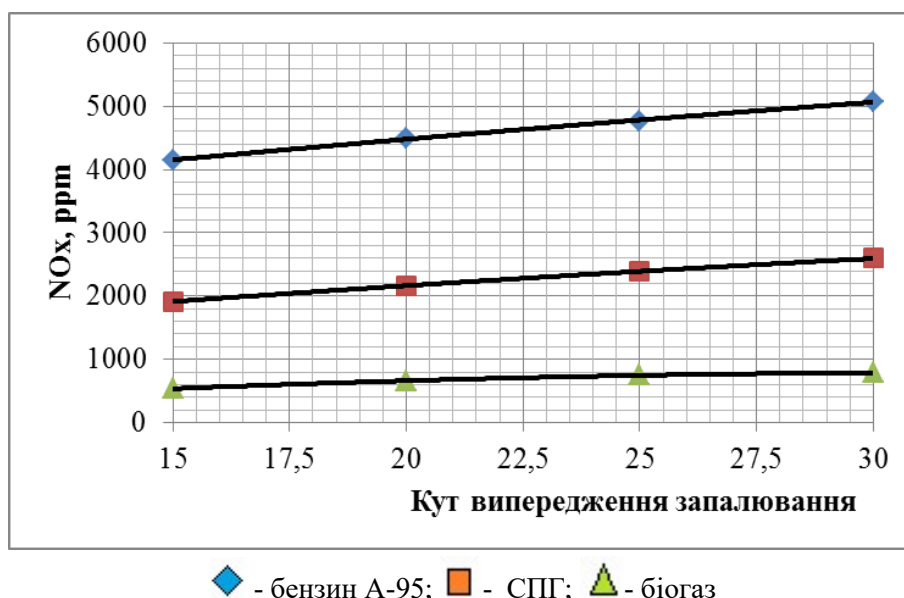


Рисунок 5 – Зміна концентрації NO_x у відпрацьованих газах двигуна Фольксваген 1,4 залежно від кута випередження запалювання

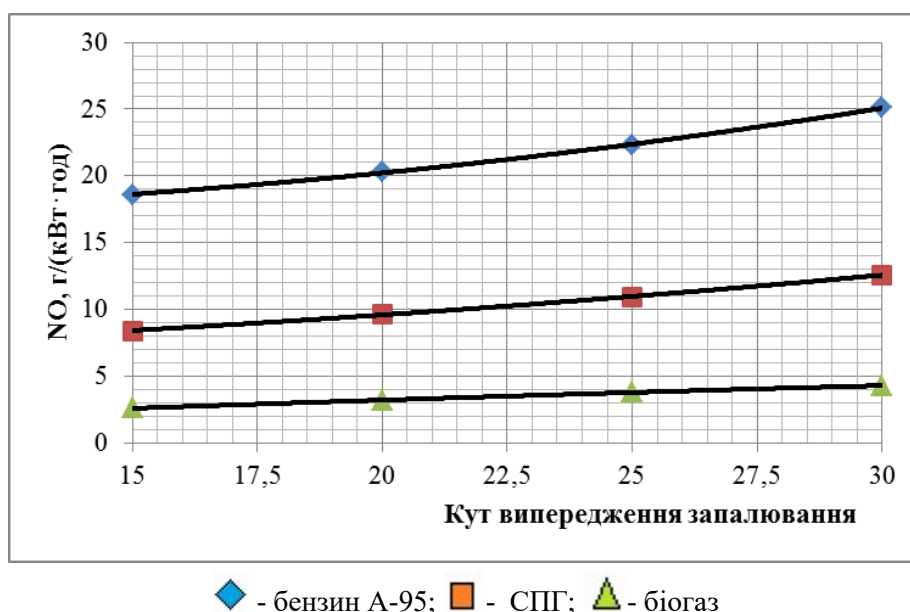


Рисунок 6 – Вплив кута випередження запалювання на кількість викидів NO двигуном Фольксваген 1,4

Крім того, значно зростають тиск і температура в циліндрі, що сприяє виникненню детонаційного згоряння. При надто пізньому куті випередження запалювання значна частина тепла виділяється під час розширення, коли поршень переміщується далеко від ВМТ. Максимальний тиск і робота розширення знижуються, потужність падає, а температура газів наприкінці розширення підвищується, і двигун перегрівается. Наприклад, відхилення кута випередження запалювання на 12 град у бік зменшення від номінального значення (пізніе запалю-

вання) призводить до збільшення витрати палива на постійних режимах роботи на 12...25 %, а в реальних умовах експлуатації – на 6...7 %. Відхилення кута випередження запалювання в бік збільшення (раннє запалювання) погіршує паливну економічність на сталих режимах до 5...10 %, а в реальних умовах експлуатації – до 4...5 %. І тільки за певного значення кута випередження запалювання матиме місце максимальна ефективна потужність, та мінімальна токсичність двигуна.

На рис. 5, 6 побудовано залежність токсичності відпрацьованих газів та об'ємів викидів NO залежно від кута випередження запалювання.

За результатами дослідження встановлено, що із збільшенням кута випередження запалювання концентрація NO_x у відпрацьованих газах та об'єми викидів NO двигуна Фольксваген 1,4 зростають, а викиди NO мінімальні у процесі використання біогазу.

Висновки

Отже, газ надходить у ДВЗ в газоподібній фазі, не змиває мастильну плівку зі стінок циліндрів і не розріджує мастило в картері.

СПГ, у тому числі і біогаз, горить повільніше від бензину, знижуючи навантаження на циліндро-поршкову групу, двигун працює «м'якше» і тихіше.

Концентрація NO_x у відпрацьованих газах двигуна фольксваген 1,4 при роботі на СПГ і біогазі в порівнянні з роботою на бензині А-95 знизилася на 49 % та 85 % відповідно.

У сумі ці фактори забезпечують подвійну (і більше) економію експлуатаційних витрат, подовжують термін служби двигуна на 30-40%, мастила й свічок — у два рази, і в наслідку значно знижують ремонтні витрати. Оптимізація робочого процесу двигуна, що працює на газі (підвищення ступеня стиску двигуна до 10-11; установка сучасної системи запалювання зі зміненими, оптимізованими під газове паливо характеристиками на максимальних й змінних оборотах двигуна) дозволяє забезпечити максимальну потужність двигуна при збереженні економічності й екологічних параметрів на високому сучасному рівні.

Література

1. Ковальов С. О. Назаренко К. С. Екологічні аспекти переобладнання дизелів у газодизелі. *Автошляховик України*. 2003. №5. С. 15-18.
2. Гайнулин Ф. Г. Природный газ как моторное топливо на транспорте. М.: Недра, 1986. 255 с.
3. Геикив К. Й. Газовые двигатели. М.: Машгиз, 1962. 116 с.
4. Использование биогаза в газодизелях. *Экспресс-информ. Поршневые и газотурбинные двигатели*. 1990. №16. С. 12-20.
5. Автомобильный справочник: Перевод с англ. Первое русское издание. М.: За рулем, 2000. 896 с.
6. Васильев О. Д., Щокін А. Р. Керамічні паливні комірки: досягнення і перспективи в Україні. *Електроінформ*. 2003. № 1. С. 24 -27.

7. Долганов К.Е., Ковалев С.А., Кухтик В.В. Переоборудование дизелей ЯМЗ в газодизелів. *Автошляховик України*. 1993. № 2. С. 13- 16.

8. Долганов К. Е., Говорун А. Г., П'ятничко О. І., Мансуров А. М., Левківський О. П. Автомобілі з бензогазовими двигунами і газодизелями: особливості конструкції і технічного обслуговування. К.: Техніка, 1991. 128 с.

9. Редзюк А. М., Гутаревич Ю. Ф. Європейські норми екологічних показників ДТЗ введені в Україні. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2002. № 1(16). С. 16-23.

10. Корнилов Г. С. Современные требования к автомобильным двигателям и пути их достижения в отечественном автомобилестроении. *Журнал ААИ*. 2001. №2(10). С. 31 -34.

11. Егоренков Б. А. Газодизель работает мягче. *Автомобильная промышленность*. 1992. № 4. С. 17 - 18.

12. Редзюк А. М., Поліщук В. М., Гутаревич Ю. Ф. та інші Комплексний аналіз ефективності використання природного газу на автомобільному транспорті. *Автошляховик України*. 2000. №2. С. 5-8.

13. Редзюк А. М., Поліщук В. М., Гутаревич Ю. Ф. та інші Комплексний аналіз ефективності використання природного газу на автомобільному транспорті. *Автошляховик України*. 2000. №3. С. 4-7.

14. Гутаревич Ю. Ф., Задорожний В. І., Матейчик В. П. та інші. Оцінка показників паливної економічності і продуктивності вантажного автомобіля при роботі на бензині і природному газі. *Автошляховик України*. 1997. №2. С. 12-15.

15. Гусаров А. П., Войсблом М. Е., Соколов М. Г. Газ как перспективное автомобильное топливо. *Экология двигателей и автомобиля: Сборник научных трудов*. М.: Изд. НАМИ, 1998. 172 с.

16. Філіпова Г. А. Про можливості зменшення забруднення довкілля автомобільним транспортом. *Автошляховик України*. 1998. № 3. С. 13-15.

17. Гоголев Л. Д. Эволюция автомобиля. К.: Техніка, 1983. 143 с.

18. Гуляев С. А. Сжатый газ как моторное топливо. *Автомобильная промышленность*. 1995. №2. С. 28-30.

19. Сереженкин А. М. О стимулировании развития парка газобаллонных автомобилей. *Автомобильная промышленность*. 1995. № 3. С. 5-6.

20. To the Environment-Friendly automobile Society. Tokyo: The Pollution-related Health

Damage Compensation and Prevention Association, 1997. P. 18.

21. Гелету́ха Г. Перспективи біогазу в Україні. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2013/07/3/383399/>.

22. Кулешов А. С. Программа расчета и оптимизации двигателей внутреннего сгорания ДИЗЕЛЬ-РК. Описание математических моделей, решение оптимизационных задач. М.: МГТУ им. Баумана, 2004. 123 с.

23. Звонов В. А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1973. 200 с.

24. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. 686 с.

References

1. Kovalov S. O. Nazarenko K. S. Ekologichni aspekty pereobladnannia dyzeliv u hazodyzeli. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*. 2003. No 5. P. 15-18. [in Ukrainian]

2. Gaynulin F. G. Prirodnyiy gaz kak motornoe toplivo na transporte. М.: Nedra, 1986. 255 p. [in Russian]

3. Geikiv K. Y. Gazovyye dvigateli. М.: Mashgiz, 1962. 116 p. [in Russian]

4. Ispolzovanie biogaza v gazodizelyah. *Ekspress-inform. Porshnevyye i gazoturbinnyye dvigateli*. 1990. No 16. P. 12-20. [in Russian]

5. Avtomobilnyiy spravochnik: Perevod s angl. Pervoe russkoe izdanie. М.: Za rulem, 2000. 896 p. [in Russian]

6. Vasylyev O. D., Shchokin A. R. Keramichni palyvni komirky: dosiahnennia i perspektyvy v Ukraini. *Elektroinform*. 2003. No 1. P. 24 -27. [in Ukrainian]

7. Dolganov K. E., Kovalev S. A., Kuhtik V. V. Pereborudovanie dizeley YaMZ v gazodizelliv. *Avtoshlyahovyk UkraYini*. 1993. No 2. P. 13-16. [in Russian]

8. Dolhanov K. E., Hovorun A. H., Piatnychko O. I., Mansurov A. M., Levkivskiy O. P. Avtomobili z benzohazovymy dvyhunamy i hazodyzeliamy: osoblyvosti konstruktсии i tekhnichnoho obsluhovuvannia. К.: Tekhnika, 1991. 128 p. [in Ukrainian]

9. Redziuk A. M., Hutarevych Yu. F. Yevropeyski normy ekolohichnykh pokaznykiv DTZ vvedeni v Ukraini. *Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist*. 2002. No 1(16). P 16-23. [in Ukrainian]

10. Kornilov G. S. Sovremennyye trebovaniia k avtomobilnym dvigateliam i puti ih dostizheniia v otechestvennom avtomobilestroenii. *Zhurnal AAI*. 2001. No 2(10). P. 31 -34. [in Ukrainian]

11. Egorenkov B. A. Gazodizel rabotaet myagche. *Avtomobilnaya promyshlennost*. 1992. No 4. P. 17 - 18. [in Russian]

12. Redziuk A. M., Polishchuk V. M., Hutarevych Yu. F. ta inshi Kompleksnyi analiz efektyvnosti vykorystannia pryrodnoho hazu na avtomobilnomu transporti. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*. 2000. No2. P. 5-8. [in Ukrainian]

13. Redziuk A. M., Polishchuk V. M., Hutarevych Yu. F. ta inshi Kompleksnyi analiz efektyvnosti vykorystannia pryrodnoho hazu na avtomobilnomu transporti. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*. 2000. No 3. P. 4-7. [in Ukrainian]

14. Hutarevych Yu. F., Zadorozhnyi V. I., Mateichyk V. P. ta inshi. Otsinka pokaznykiv palyvnoi ekonomichnosti i produktyvnosti vantazhnoho avtomobilia pry roboti na benzyni i pryrodnomu hazi. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*. 1997. No 2. P. 12-15. [in Ukrainian]

15. Gusarov A. P., Voysblyum M. E., Sokolov M. G. Gaz kak perspektivnoe avtomobilnoe toplivo. *Ekologiya dvigateley i avtomobilya: Sbornik nauchnykh trudov*. М.: Izd. NAMI, 1998. 172 p. [in Russian]

16. Filipova H. A. Pro mozhlyvosti zmeshennia zabrudnennia dovkillia avtomobilnym transportom. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*. 1998. No 3. P. 13-15. [in Ukrainian]

17. Hoholiev L. D. Evoliutsiia avtomobilia. К.: Tekhnika, 1983. 143 p. [in Ukrainian]

18. Gulyaev S. A. Szhatyy gaz kak motornoe toplivo. *Avtomobilnaya promyshlennost*. 1995. No2. P. 28-30. [in Russian]

19. Serezhenkin A. M. O stimulirovanii razvitiya parka gazoballonnykh avtomobiley. *Avtomobilnaya promyshlennost*. 1995. No 3. P. 5-6. [in Russian]

20. To the Environment-Friendly automobile Society. Tokyo: The Pollution-related Health Damage Compensation and Prevention Association. 1997. P. 18.

21. Heletukha H. Perspektyvy biohazu v Ukraini. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2013/07/3/383399/>.

22. Kuleshov A. S. Programma rascheta i optimizatsii dvigateley vnutrennego sgoraniya DIZELB-RK. Opisanie matematicheskikh modeley, reshenie optimizatsionnykh zadach. М.: MGTU im. Bauman, 2004. 123 p. [in Russian]

23. Zvonov V. A. Toksichnost dvigateley vnutrennego sgoraniya. М.: Mashinostroenie, 1973. 200 p. [in Russian]

24. Zeldovich Ya. B., Rayzer Yu. P. Fizika udarnykh voln i vyisokotemperaturnykh gidrodinamicheskikh yavleniy. М.: Nauka, 1966. 686 p. [in Russian]