

**Шифр «Дослідження токсичності»**

**Назва роботи: Дослідження токсичності двигуна фольксваген 1,4  
у процесі його експлуатації на біогазі**

## Зміст

	Стр.
Вступ	4
1. Аналіз використання біогазу для ДВЗ та їх характеристика	5
2. Уточнена методика розрахунку робочого процесу бензинового двигуна в процесі роботи на біогазі	12
3. Дослідження токсичності двигуна Фольксваген 1,4 у процесі його експлуатації на біогазі	13
Висновки	21
Список використаних джерел	22

## Анотація

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 також і розгалужена мережа автогазонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС) ДП "Укртрансгаз", яка на сьогодні становить близько 150 станцій і постійно зростає.

Сьогодні мережею АГНКС у країні користуються 35 тисяч автомобілів, що дозволяє Україні за кількістю автомобілів, які працюють на СПГ, посідати сьоме місце у світі.

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

У сумі ці фактори забезпечують подвійну (і більше) економію експлуатаційних витрат, подовжують термін служби двигуна на 30-40%, масла 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.

## Вступ

Слід зазначити, що використання природного газу, основою якого є метан, 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.

Біогаз має ті ж характеристики, що і природний газ. Тому його можна вільно застосовувати в автомобілях, двигун яких пристосований під природний газ.

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 вихлопних газах автомобілів;
- збільшення терміну служби двигунів внутрішнього згорання автомобілів, за рахунок незмивної масляної плівки.

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.

## 1. Аналіз використання біогазу для ДВЗ та їх характеристика

До основних переваг використання природного газу як моторного палива належать його фізико-хімічні властивості. Так, на 85 - 99% природний газ складається з метану ( $\text{CH}_4$ ), 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 наведені в [3, 6].

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

Суттєвий вплив на енергетичні й екологічні показники роботи газових двигунів спричиняє вибір способу регулювання його потужності у зв'язку з тим, що для компенсації втраченої потужності при переході на газове паливо необхідно збільшувати циклову подачу палива [8-11].

Як наслідок у відхідних газах ДВЗ різко зростає кількість  $\text{CO}$  і  $\text{NO}_x$ . Кількість викидів  $\text{C}_n\text{H}_m$  при цьому не збільшується [12-15].

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

- віддаленість підприємств 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 не дивлячись на 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, яка 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. Необхідно підкреслити, 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 до 22,8% 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 очистки 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.

В останні роки почали стрімко розвиватися проекти з виробництва очищеного біогазу - 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 "Запоріжсталі". 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 Глобинському 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 слабого фінансового ринку і відсутності інвестицій.

Працюють також біогазові установки на полігонах у Львові, Кременчуці, Києві, на Бортницькій 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 - 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 газопоршневу 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 вирощування 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.

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

Вид діяльності	Кількість підприємств в Україні	Загальний обсяг основних відходів	Потенціал виробництва біогазу із загального обсягу відходів і продукції
		тис тонн	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

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.

## **2. 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 напівемпіричних 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 по ланцюговому принципу, 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.

### 3 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 <sup>3</sup>	1390
10	Мінімальна частота обертання, хв <sup>-1</sup>	830
11	Максимальна частота обертання, хв <sup>-1</sup>	5600
12	Максимальний крутний момент, Нм	126/3800
13	Номінальна потужність, кВт	55/5000

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

Щоб забезпечити всебічне дослідження утворення NO<sub>x</sub> у процесі використання різних видів палива та здійснити порівняльну оцінку нами використано різні режими роботи ДВЗ.

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

У залежності від  $\alpha$  (співвідношення кількості повітря і палива) може бути кілька видів паливної суміші. Якщо повне згоряння 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 невігідний.

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 згоряння палива, збільшується кількість нагароутворення, двигун димить, витрата палива зростає, а потужність знижується.

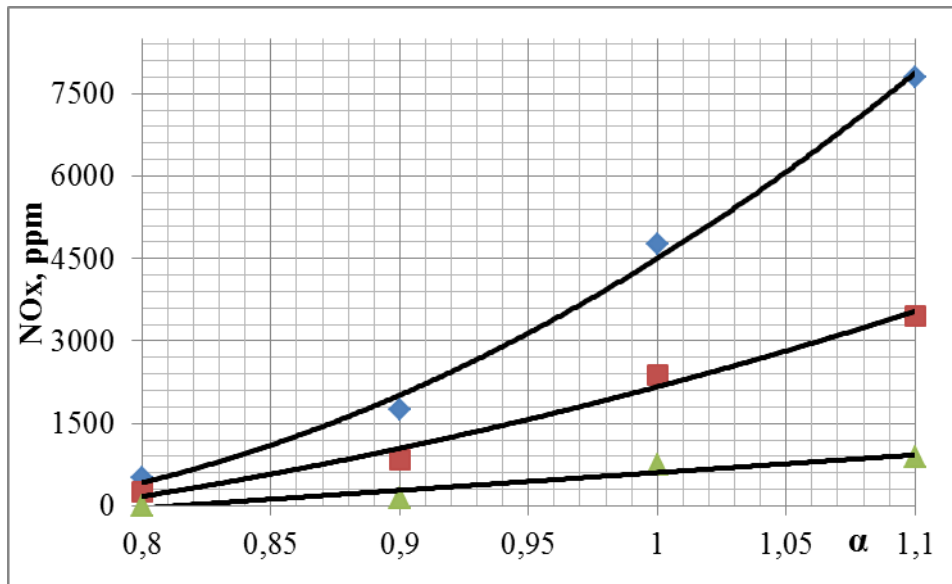
Склад горючої суміші значно впливає на екологічні показники двигуна.

Збіднення горючої суміші знижує потужність двигуна і економічність його роботи, збільшує витрату палива, зменшує виділення теплоти, яка витрачається на корисну роботу, за рахунок виносу 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 згоряння палива, падіння потужності двигуна, збільшення витрати палива, а продукти згоряння містять вуглеводні, оксид вуглецю, водень.

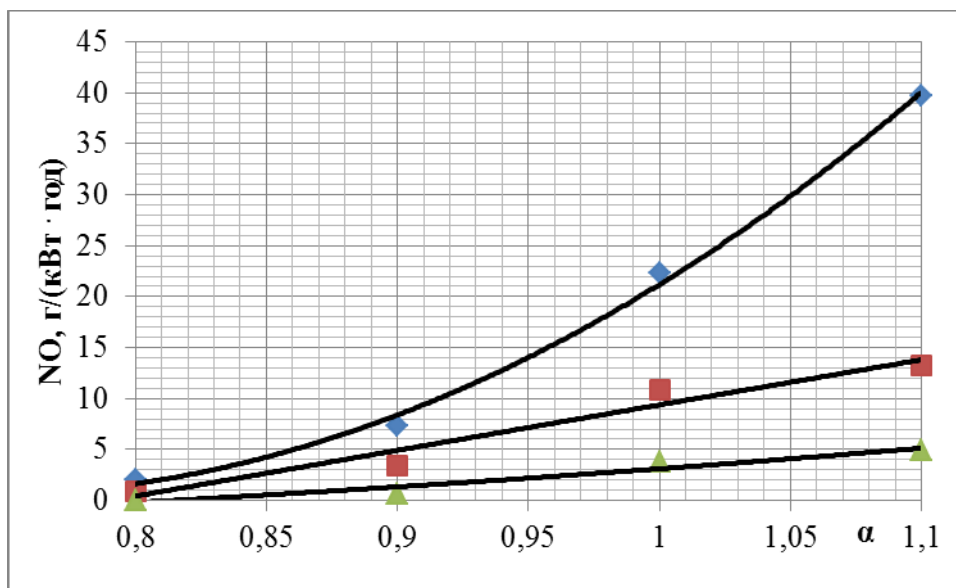
Оптимальне значення коефіцієнту надлишку повітря для бензинових двигунів становить  $\alpha = 1,05...1,15$ , іноді  $\alpha = 0,90...0,95$ ; у газових двигунах  $\alpha = 1,03...1,08$ .

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



◆ - бензин А-95; ■ - СПГ; ▲ - біогаз

Рисунок 1 – Зміна концентрації  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах двигуна фольксваген 1,4 в залежності від коефіцієнта надлишку повітря



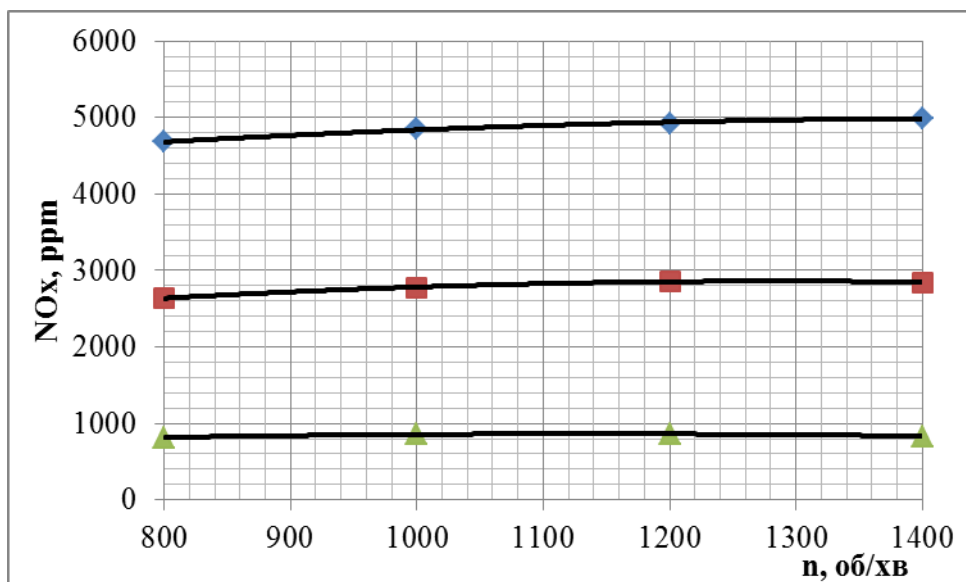
◆ - бензин А-95; ■ - СПГ; ▲ - біогаз

Рисунок 2 – Вплив коефіцієнта надлишку повітря на кількість викидів  $\text{NO}$  двигуном фольксваген 1,4

Аналіз отриманих результатів підтверджує, що мінімальна концентрація  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах та найменші викиди  $\text{NO}$  двигуна фольксваген 1,4

забезпечуються у процесі використання біогазу та за коефіцієнту надлишку повітря  $\alpha=0,8$ .

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



◆ - бензин А-95; ■ - СПГ; ▲ - біогаз

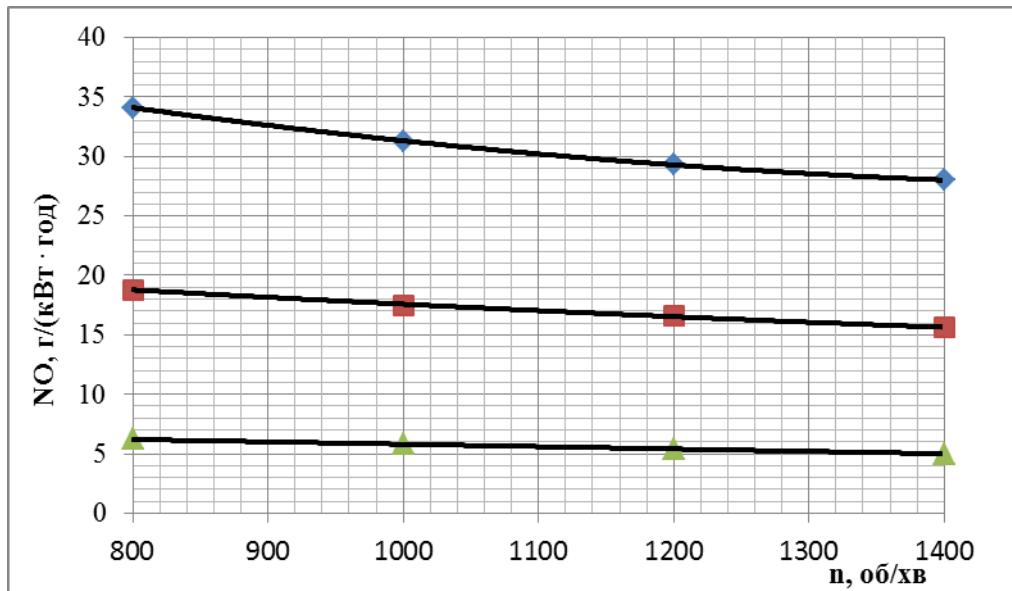
Рисунок 3 – Зміна концентрації  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах двигуна фольксваген 1,4 в залежності від частоти обертання колінчастого вала

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 ході 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.



◆ - бензин А-95; ■ - СПГ; ▲ - біогаз

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

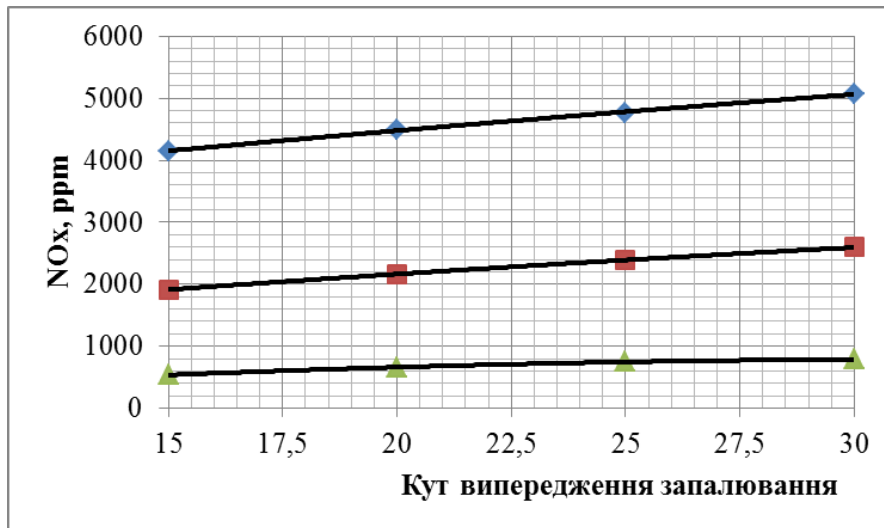
З результатів дослідження встановлено, що мінімальна концентрація  $NO_x$  у відпрацьованих газах та найменші викиди NO двигуна фольксваген 1,4 забезпечуються у процесі використання біогазу.

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°.

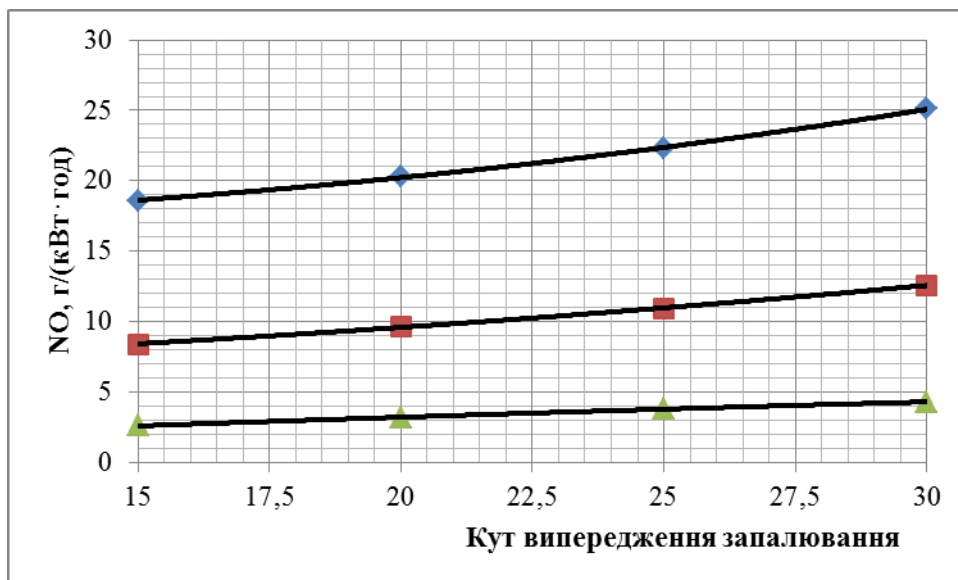
Як, правило, зміну кута випередження запалювання виконують до моменту отримання на даному режимі максимального крутного моменту  $M_k$ , (Н·м) або максимальної потужності. При надто ранньому куті випередження запалювання своєчасність тепловиділення поліпшується, але тиск різко збільшується і навіть може досягнути максимального значення до завершення ходу стискання. Унаслідок цього зростає негативна робота наприкінці стискання, знижується потужність і погіршується паливна економічність двигуна, підвищується токсичність. Крім того, значно зростають тиск і температура в циліндрі, що сприяє виникненню детонаційного згоряння. При надто пізньому куті випередження запалювання значна частина тепловиділення відбувається 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 перегрівається. Наприклад, відхилення кута випередження запалювання на 12 град у бік зменшення від номінального значення (пізнє запалювання) 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 в залежності від кута випередження запалювання.



◆ - бензин А-95; ■ - СПГ; ▲ - біогаз

Рисунок 5 – Зміна концентрації  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах двигуна фольксваген 1,4 в залежності від кута випередження запалювання



◆ - бензин А-95; ■ - СПГ; ▲ - біогаз

Рисунок 6 – Вплив кута випередження запалювання на кількість викидів  $\text{NO}$  двигуном фольксваген 1,4

За результатами дослідження встановлено, що із збільшенням кута випередження запалювання концентрація  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах та об'єми викидів  $\text{NO}$  двигуна фольксваген 1,4 зростають, а викиди  $\text{NO}$  мінімальні у процесі використання біогазу.

## Висновки

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

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

Концентрація  $\text{NO}_x$  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%, масла 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.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковальов С.О. Екологічні аспекти переобладнання дизелів у газодизелі / С.О. Ковальов, К.С. Назаренко // 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 / К. Й. Геикив. – 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. Керамічні паливні комірки: досягнення і перспективи в Україні / О.Д. Васильев, А.Р. Щокін // Електроінформ. – 2003. – № 1. – С. 24 - 27.
7. Долганов К. Е. Переоборудование дизелей ЯМЗ в газодизелів / К.Е. Долганов, С.А. Ковалев, В.В. Кухтик //АвтошляховикУкраїни. – 1993. – № 2. – С. 13- 16.
8. Долганов К.Є. Автомобілі з бензогазовими двигунами і газодизелями: особливості конструкції і технічного обслуговування / К.Є. Долганов, А.Г. Говорун, О.І. П'ятничко та ін. – К.: Техніка. – 1991. – 128 с.
9. Редзюк А. М. Європейські норми екологічних показників ДТЗ введені в Україні / А.М. Редзюк, Ю.Ф. Гутаревич // 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 / Г.С. Корнилов // Журнал ААИ. – 2001. – №2(10). – с. 31 -34.

11. Егоренков Б.А. Газодизель работает мягче / Б.А. Егоренков // Автомобильная промышленность. – 1992. – № 4. – С. 17 - 18.
12. Редзюк А.М. Комплексний аналіз ефективності використання природного газу на автомобільному транспорті / А.М. Редзюк, В.М. Поліщук, Ю.Ф. Гутаревич та інші //Автошляховик України. – 2000. – №2. – С. 5-8.
13. Редзюк А.М. Комплексний аналіз ефективності використання природного газу на автомобільному транспорті / А.М. Редзюк, В.М. Поліщук, Ю.Ф. Гутаревич та інші //Автошляховик України. – 2000. – №3. – С. 4-7.
14. Гутаревич Ю.Ф. Оцінка показників паливної економічності і продуктивності вантажного автомобіля при роботі на бензині і природному газі / Ю.Ф. Гутаревич, В.І. Задорожний, В.П. Матейчик та інші. //Автошляховик України. – 1997. – №2. – С. 12-15.
15. Гусаров А.П. Газ как перспективное автомобильное топливо / А.П. Гусаров, М.Е. Войсблум, М.Г. Соколов // Экология двигателей и автомобиля: Сборник научных трудов. – М.: Изд. НАМИ. – 1998. – 172 с.
16. Філіпова Г.А. Про можливості зменшення забруднення довкілля автомобільним транспортом / Г.А. Філіпова //Автошляховик України. – 1998. – №3. – С. 13-15.
17. Гоголев Л.Д. Эволюция автомобиля / Гоголев Л.Д. – К.: Техніка. – 1983. – 143 с.
18. Гуляев С.А. Сжатый газ как моторное топливо / С.А. Гуляев // Автомобильная промышленность. – 1995. – №2. – С. 28-30.
19. Сереженкин А.М. О стимулировании развития парка газобаллонных автомобилей / А.М. Сереженкин // 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. <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 / А.С. Кулешов. – 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.