

Міністерство освіти і науки України

Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Шифр «Газова форсунка»

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ОБГРУНТУВАННЯ
ВИБОРУ ФОРСУНОК ДЛЯ БІОГАЗУ**

2021

ЗМІСТ

Анотація.....	3
Вступ.....	5
1 Аналіз попередніх досліджень.....	6
2 Дослідження основних характеристик форсунок для біогазу.....	11
2.1 Дослідження лінійності роботи газових форсунок.....	11
2.2 Дослідження часу реакції газових форсунок.....	15
2.3 Порівняльна оцінка заводських характеристик газових форсунок.....	17
Висновки.....	21
Література.....	23

Анотація

У зв'язку з тенденцією дефіциту товарних палив для двигунів в Україні та світі розвивається виробництво альтернативних палив серед яких біогаз.

Використання біогазового палива на сучасному двигуні внутрішнього згоряння обладнаного газовою апаратурою 4, 5 поколінь може створити ряд труднощів. Це пов'язано із низькою теплотою згоряння неочищеного біогазу, наявністю вологи та специфікою роботи форсунок.

А, тому для правильного вибору форсунок необхідно здійснити дослідження та аналіз ряду основних показників їх роботи та на основі отриманих даних рекомендувати їх оптимальні параметри.

У газових форсунках, як, і у бензинових, є ряд важливих параметрів, від яких залежить стабільність і рівномірність роботи двигуна, витрата палива, надійність і ін. До них відносяться: лінійність роботи; час реакції форсунки; опір котушки; час спрацювання; здатність підтримувати заводські характеристики; ресурс роботи.

Для дослідження нами вибрані форсунки 4 покоління найпоширеніших виробників, а саме: Matrix; Barracuda; Valtek; Hana; Keihin.

За показником лінійності роботи низькі показники мають форсунки Valtek, а отже використання їх на двигунах може призвести до підвищеної витрати біогазу, зниження продуктивності двигуна та прогоряння клапанів.

Високими показниками у даному аспекті досліджень володіють форсунки Keihin, а тому вони забезпечать максимальну ефективність спалювання біогазу на двигуні.

Час реакції найвищий показник у форсунок Keihin. Форсунки Barracuda, є дуже близькими за роботою до Keihin, а отже їх використання не погіршить роботу двигуна.

Заводські характеристики форсунок, а саме опір котушки найоптимальніший у форсунках фірми Keihin, а найнижчий показники у

форсунок Valtek, час реакції (спрацювання) форсунок Matrix, Hana та Keihin є досить близьким становить 2 мс, що забезпечить швидку реакцію та спрацювання, а форсунки Barracuda та Valtek мають погіршені показники за даним параметром, здатність підтримувати заводські характеристики в межах від 2 до 5% забезпечують форсунки Keihin, Matrix та Barracuda, а найгірші показники у Valtek – це до 20%, ресурс роботи форсунок за умови вчасного проведення обслуговування найбільший у форсунок Keihin, Matrix та Hana, що становить від 200 до 250 тис. км, а найнижчий показник у форсунок Valtek та Matrix ресурс від 70 до 100 тис. км.

Отже, за результатами проведених досліджень рекомендованими для застосування на двигунах у процесі їх переобладнання на газове паливо є форсунки фірми Keihin. Їх застосування забезпечить максимальну ефективність та економічність роботи двигуна.

Вступ

Використання біогазового палива на сучасному двигуні внутрішнього згоряння (ДВЗ) обладнаного газовою апаратурою 4, 5 поколінь може створити ряд труднощів. Це пов'язано із низькою теплотою згоряння неочищеного біогазу, наявністю вологи та специфікою роботи форсунок.

І як, що деякі проблеми можна вирішити здійснивши очистку біогазу від небажаних компонентів та вологи то для вибору форсунок необхідно здійснити дослідження та аналіз ряду основних показників їх роботи та на основі отриманих даних рекомендувати їх оптимальні параметри.

Отже, питання дослідження основних параметрів та обґрунтування вибору газових форсунок для альтернативного біогазового палива є досить актуальним, вирішення якого забезпечить оптимальне ні показники роботи ДВЗ на біогазі.

1 Аналіз попередніх досліджень

Відомі праці вітчизняних науковців Матейчик В.П., Яновський В.В., Захарчук В.І., Козачук І.С., Захарчук О.В., що здійснили аналіз перспектив використання в якості моторного палива – природного газу як альтернативи палив нафтового походження. Встановили, що на даний час це паливо є найбільш технологічно підготовленим для використання у ДВЗ, і як таке, що вимагає мінімальних витрат при переобладнанні двигунів для роботи на ньому [1, 2]. Також зазначеними науковцями проаналізовано переваги і недоліки експериментальних і розрахункових методів оцінювання енергетичних, економічних та екологічних показників двигунів, а також підходи до досліджень газових двигунів таких установ і організацій як МАДИ, ВНИИГАЗ, НТУ, ХНАДУ, «ІПМаш».

Найбільш реальними заміниками нафтового дизельного палива (ДП) в даний час є диметилефір (ДМЕ), біопалива, зокрема метиловий ефір ріпакової олії (МЕРО) та горючі гази (стиснутий природний газ (СПГ) та зріджений нафтовий газ (ЗНГ)). В даний час перше місце в світі по використанню альтернативних палив на транспорті посідає ЗНГ. В США автомобілі, які працюють на цьому паливі (близько 400 тис.) складають близько 90 % всього парку газобалонних автомобілів в цій країні. А число автомобілів в світі працюючих на цьому виді палива перевищує 20 млн. [3].

ЗНГ набув досить широкого застосування через більш прийнятні умови зберігання і заправлення. За нормальних температур (в діапазоні від -20 до +20 оС) і відносно невисоких тисків (10...20 кг/см²) він знаходиться в рідкому стані. Це дозволяє зберігати зріджений газ на борту транспортного засобу у відносно легких і компактних ємностях та у кількості, яка забезпечує такий пробіг як і на бензині. ЗНГ має гарні експлуатаційні показники, зокрема октанове число знаходиться в межах 100 одиниць, нижча теплота згоряння близько 45,5 МДж/кг. При використанні ЗНГ як палива

двигун має можливість працювати на більш бідних сумішах при $\alpha = 1,1 \dots 1,3$. Але вартість ЗНГ не на багато менша від вартості бензину. І цей газ отримують під час видобування та переробки нафти в значно менших масштабах у порівнянні з видобутком природного газу. Тому можна очікувати, що ЗНГ і в подальшому будуть використовувати як моторне паливо, але його частка в загальному обсязі споживання палив буде відносно невеликою [4, 5].

Одним з найбільш перспективних палив на транспорті є СПГ. Хороші фізико-хімічні властивості природного газу, його значні запаси, розвинута мережа доставки у різні регіони країни магістральними газопроводами та екологічні переваги у порівнянні з традиційними видами палив дозволяють розглядати природний газ як найбільш перспективне та універсальне моторне паливо України XXI ст. Потреби в природному газі на планеті забезпечені приблизно ще на 70 років. Розвідані світові запаси складають біля 136 трильйонів м³ [3].

Згідно з інформацією всесвітньої Міжнародної асоціації використання природного газу для газобалонних автомобілів (International Association for Natural Gas Vehicles - IANGV) станом на середину 2019 року кількість автомобілів у світі, які працюють на природному газі, досягла понад 7,0 млн. Європейським лідером щодо використання природного газу як моторного палива є Італія (понад 500 тис. автомобілів). Друге місце в Європі та перше серед країн СНД за обсягами споживання СПГ посідає Україна. За оцінкою фахівців ДП „ДержавтотрансНДІпроект” та ДК „Укртрансгаз” станом на червень 2019 року в Україні на СПГ працювало понад 100 тис. автомобілів, а кількість автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС) станом налічувала понад 250 одиниць [4].

Збільшення обсягів використання СПГ може зменшити навантаження на ринок нафтопродуктів України у 2020 році – на 7,8%, у 2030 році – на 14,4%. При цьому, прогнозуються широке використання біогазового палива,

виробництво якого в Україні має досить високі перспективи [4, 5].

Згідно даних [5] компонентний склад біогазу наступний: 50-75 % – метан; 25-50 % – вуглекислий газ; 0-3 % – сірководень; 0-10 % – азот; 0-2 % – кисень.

Переведення автомобільного транспорту на біогаз має велике економічне і екологічне значення, оскільки це звільняє ресурси рідкого палива і знижує забруднення повітряного середовища. Оскільки, за підрахунками екологів, у великих містах біля 70% всіх шкідливих викидів в атмосферу приходить на долю автомобілів [6, 7].

Широке застосування газу як моторного палива, пов'язане з рядом переваг в порівнянні з іншими паливами. Високе октанове число (100 – 105) дозволяє використовувати його у двигунах із ступенем стискування 12 – 13 і тому забезпечується вища потужність в порівнянні з двигунами, переобладнаними з бензинових. Вміст токсичних речовин у відпрацьованих газах в 1,5 – 2 рази нижчий у порівнянні з відпрацьованими газами бензинових двигунів. Згорання метану відбувається у складі бідних паливо-повітряних сумішей, що підвищує повноту згорання і обмежує можливість утворення оксиду вуглецю та інших продуктів неповного згорання. Малий вміст вуглецю у молекулі в порівнянні з іншими вуглеводневими паливами забезпечує найнижчий вміст діоксиду вуглецю у відпрацьованих газах (у 1,22 і в 1,34 рази менше в порівнянні з бензином і дизельним паливом відповідно). При використанні газового палива, як правило, збільшується моторесурс двигуна до капітального ремонту майже в 1,5 рази [8].

У порівнянні з дизелем у газовому двигуні з іскровим запалюванням рівень шуму нижчий на 3 – 6 дБ. Під час згорання газового палива практично не утворюється нагар в камері згорання. При використанні газового палива виключається змивання масла із стінок циліндрів, що призводить до зменшення витрати оливи і значне збільшення терміну його заміни [9].

Дослідження ефективності переобладнання бензинових та дизельних

двигунів на газове пальне виконане у працях [3, 10].

Переобладнання бензинових двигунів у газові є найбільш простим і дешевим. У даний час експлуатується певна кількість бензинових автомобілів (ГАЗ, ЗИЛ), які працюють на стиснутому газі.

У процесі переобладнання бензинових двигунів у газові для роботи на природному чи біогазі, втрата потужності досить суттєва і становить більше 20 % [11]. Були зроблені спроби використання газового палива шляхом переобладнання дизелів у газодизелі (автомобілі КамАЗ, МАЗ та трактори К-700А, К-701, Т-150, МТЗ-80/82) [11-13].

Але газодизелі, які працювали на суміші газу і дизельного палива, виявили ряд недоліків: значно складніша система живлення, зменшення терміну служби розпилювачів форсунок, неповне заміщення дизельного палива газом, необхідність зберігання запасів двох видів палива на мобільному засобі. Тому газодизелі не набули поширення на сільськогосподарській техніці. Створення газових двигунів, які мають найкращі економічні та екологічні показники, свідчить про переваги конвертації дизелів у газові двигуни з іскровим запалюванням [11-13].

У роботі [14] виконувались дослідження економічної ефективності експлуатації трактора МТЗ-82 з газовим двигуном з іскровим запалюванням. Показано, що термін окупності інвестицій на переобладнання трактора становить 8 місяців. При коефіцієнті завантаження двигуна 75 та 50 % чистий дохід від експлуатації трактора з газовим двигуном вищий на 37 та 65 % відповідно, у порівнянні з трактором із газодизелем.

У роботі [15] проводився аналіз застосування газового палива в якості моторного палива в аграрному секторі економіки. Експлуатація газобалонної техніки в умовах різноманітних господарств показала свою ефективність. Термін окупності капітальних вкладень у переобладнання техніки становить від 3 місяців до 1,2 роки. Використання газового палива дозволяє знизити собівартість продукції аграрного виробництва до 10 %.

У роботі [16] виконувались дослідження щодо обґрунтування економічної ефективності переобладнання колісного трактора для роботи на природному газі. Економічні розрахунки показали, що переобладнання дизеля у газовий двигун на колісному тракторі МТЗ-80 дасть значний економічний ефект. Термін окупності інвестицій – 0,65 роки.

Отже, з вище наведеного видно наскільки перспективним є використання біогазового палива на двигунах з бензиновими та дизельними системами живлення. Економічність даних двигунів у високій мірі залежить від основних параметрів газових форсунок, а отже, досліджень робочих параметрів газових форсунок є досить актуальним.

2 Дослідження основних характеристик форсунок для біогазу

Конструктивно газові форсунки дуже схожі з бензиновими - виняток становлять лише кілька моделей. Але навіть схожі по конструкції газові форсунки істотно відрізняються від бензинових аналогів за своїми параметрами. Так як обсяг випаруваного в редукторі газу, що подається в циліндри, в 250 разів перевищує еквівалентну дозу бензину, всепрохідні перетини у газовій форсунки в десятки разів більше.

Крім того, газові форсунки мають низький електричний опір - 1-3 Ом, в той час як у їх бензинових аналогів він становить 16-17 Ом. Це обумовлено тим, що газовим форсункам необхідно пропускати через себе набагато більше палива (за об'ємом). Відповідно, у них повинна бути інша стратегія управління.

Бензинова форсунка відкривається простим імпульсом 12 В, але якщо такий же імпульс подати на газову, через низький опір обмотки вона просто згорить. Тому газові форсунки відкривають за допомогою широтно-імпульсної модуляції, тобто на форсунку подається початковий імпульс, який відкриває її, потім імпульс зникає і знову з'являється. Це відбувається настільки швидко, що форсунка не встигає закритися і обмотка при цьому не перегрівається.

Так як газ знаходиться в випаровування стані, на відміну від бензину, немає необхідності в застосуванні високоточних розпилювачів, досить звичайного штуцера, який встановлений у впускному колекторі близько бензинової форсунки

2.1 Дослідження лінійності роботи газових форсунок. У газових форсунках, як, і у бензинових, є ряд важливих параметрів, від яких залежить стабільність і рівномірність роботи двигуна, витрата палива, надійність і ін.

Один з найважливіших параметрів - лінійність роботи. Так, наприклад коли форсунка відкривається на 3 мс і видає певну порцію газу, то при її відкритті на 6 мс порція газу повинна бути в два рази більше.

Для дослідження обираємо форсунки 4 покоління найпоширеніших виробників, а саме:

- 1) Matrix.
- 2) Barracuda.
- 3) Valtek.
- 4) Hana.
- 5) Keihin.

В процесі виконання досліджень використовувалась інформація з сайту www.autocentre.ua. За отриманими результатами побудовані залежності умовної продуктивності форсунки (л/хв.) від часу відкриття (мс) рис. 1 – 5.

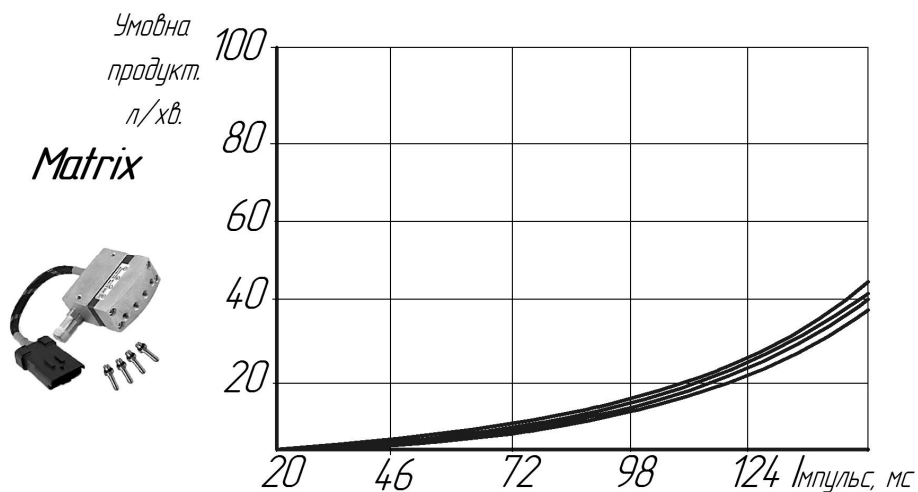


Рисунок 1 - Дослідження лінійності роботи газових форсунок Matrix

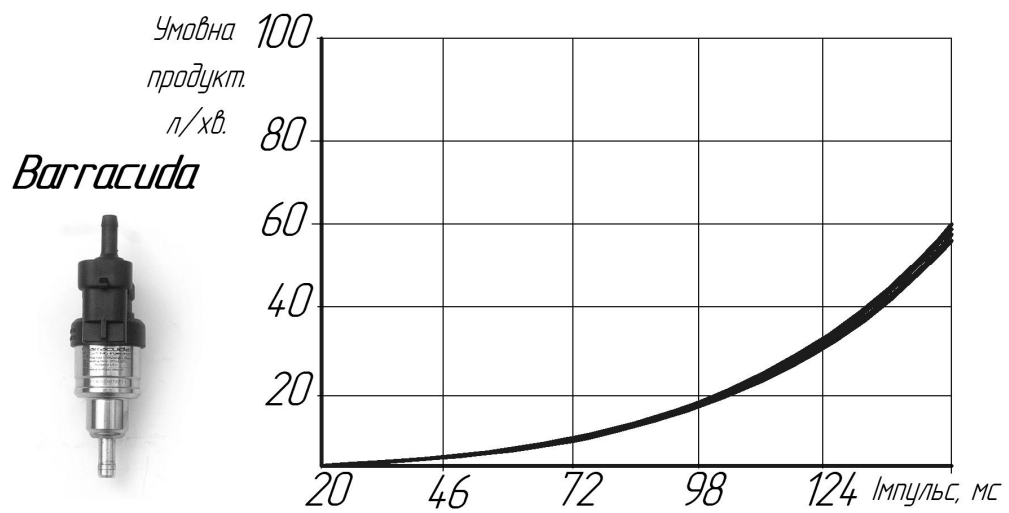


Рисунок 2 - Дослідження лінійності роботи газових форсунок Barracuda

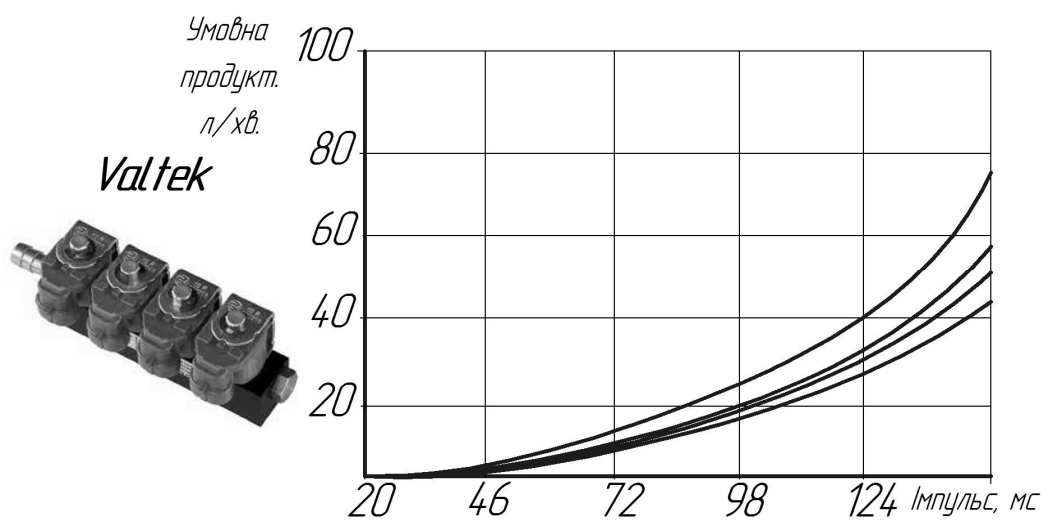


Рисунок 3 - Дослідження лінійності роботи газових форсунок Valtek

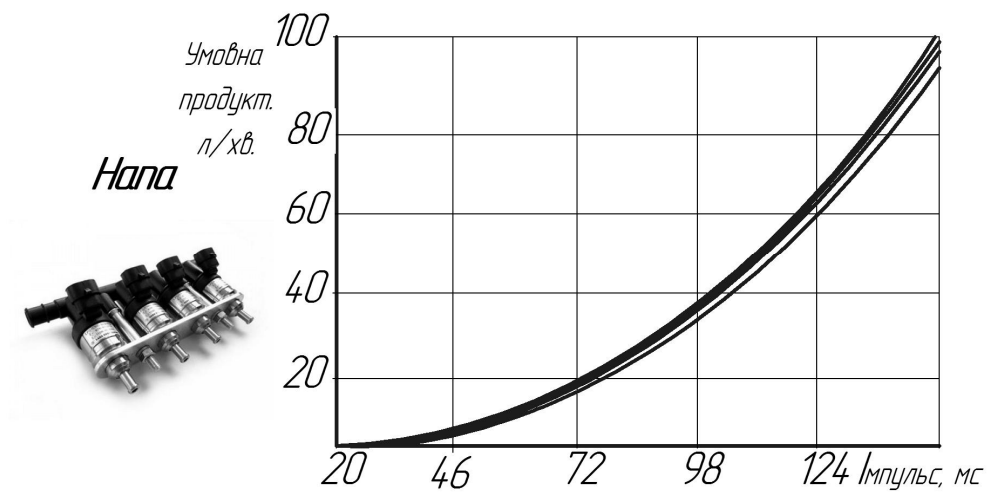


Рисунок 4 - Дослідження лінійності роботи газових форсунок Hana

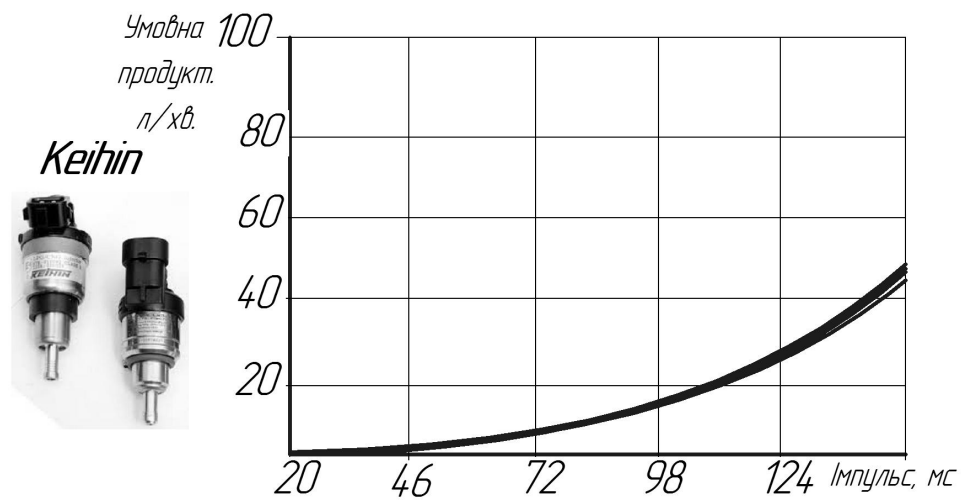


Рисунок 5 - Дослідження лінійності роботи газових форсунок Keihin

Лінійність робота - це характеристика, від якої залежить:

- стабільність робочих характеристик двигуна;
- рівень витрат палива;
- надійність.

Незважаючи на згадану простоту цього алгоритму, багато бюджетні розпилювачі газу не демонструють таку лінійність. В результаті це може привести до таких неприємностей:

- підвищена витрата газової суміші;
- зниження продуктивності ДВС;
- прогорання клапанів.

За даним показником дослідні форсунки мають різні лінійні характеристики.

Найгірші лінійні показники мають форсунки Valtek (рис. 3), а отже використання їх на двигунах може призвести до підвищеної витрати газу, зниження продуктивності ДВЗ та прогорання клапанів.

Найкращими у даному аспекті згідно рис. 5 є форсунки Keihin, а тому вони забезпечать максимальну ефективність спалювання газу на ДВЗ.

2.2 Дослідження часу реакції газових форсунок. Ще один важливий показник – час реакції форсунки.

Це час, через який фізично відкривається форсунка після того, як на неї з'явився сигнал (електричний імпульс). Чим цей час менший, тим форсунка кращої якості.

Якщо час відгуку занадто великий, то це призводить до неточного дозування, перевитрати газової суміші або втрати потужності.

Як ми бачимо з графіків (рис. 6 – 9), за даним показником найкращі форсунки Keihin.

Форсунки Barracuda, є дуже близькими за роботою до Keihin, а отже їх використання не погіршить роботу ДВЗ.

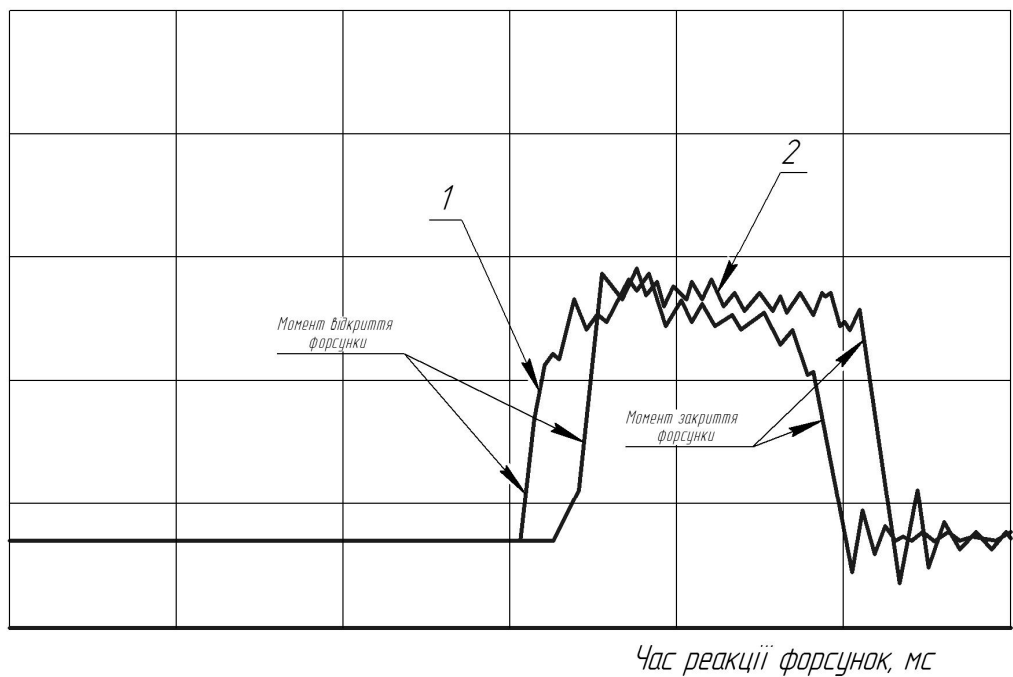


Рисунок 6 – Порівняльний графік часу відклику форсунок
Keihin та Valtek

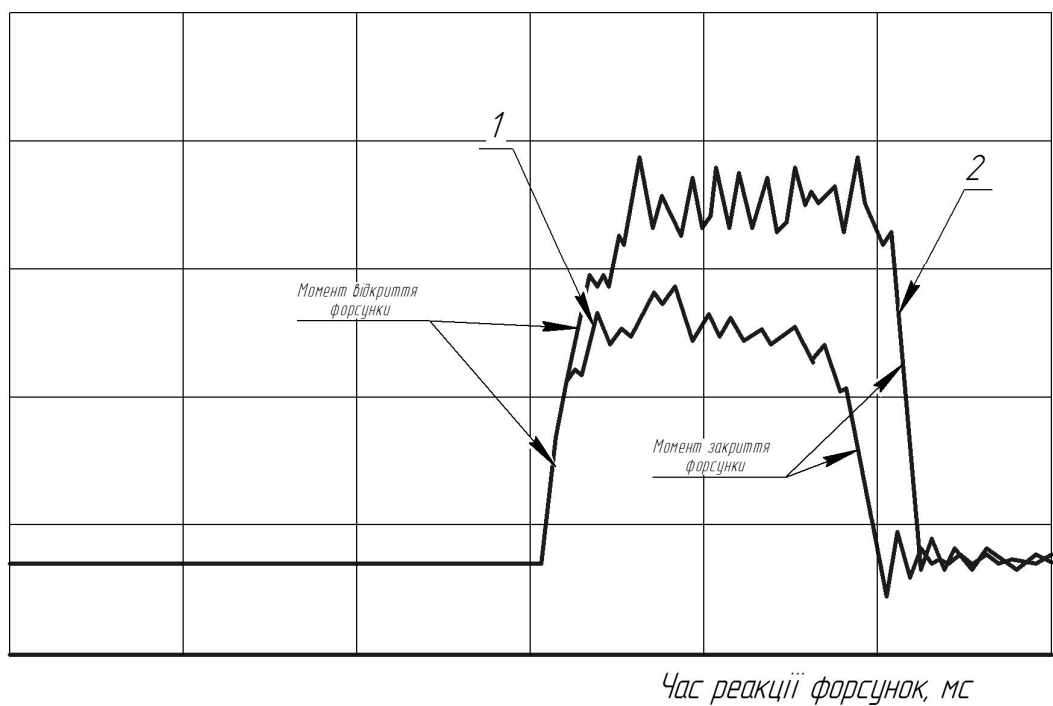
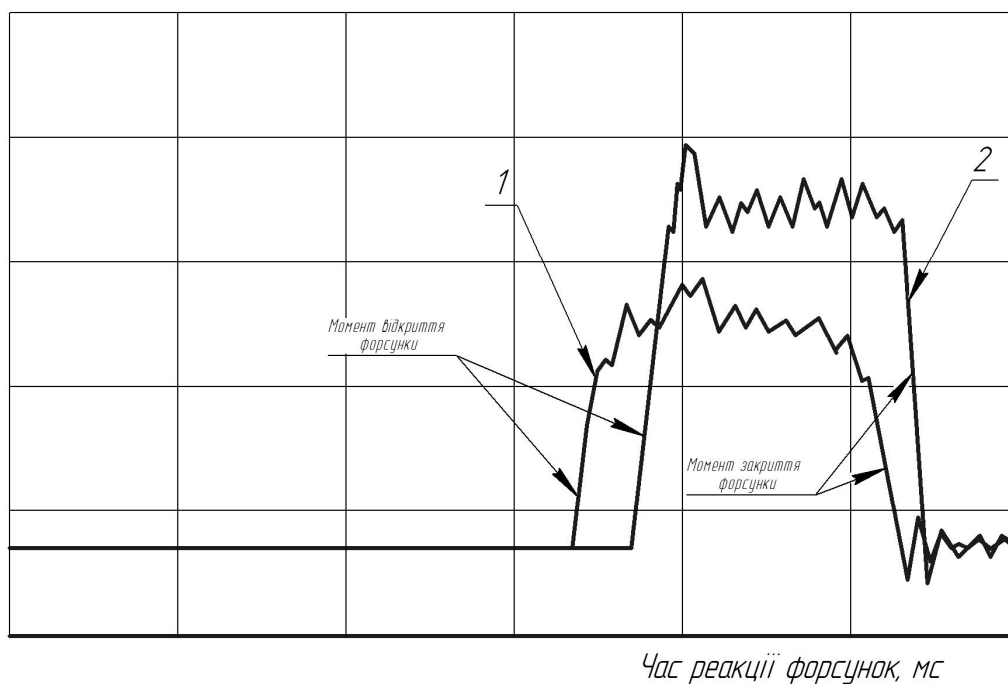
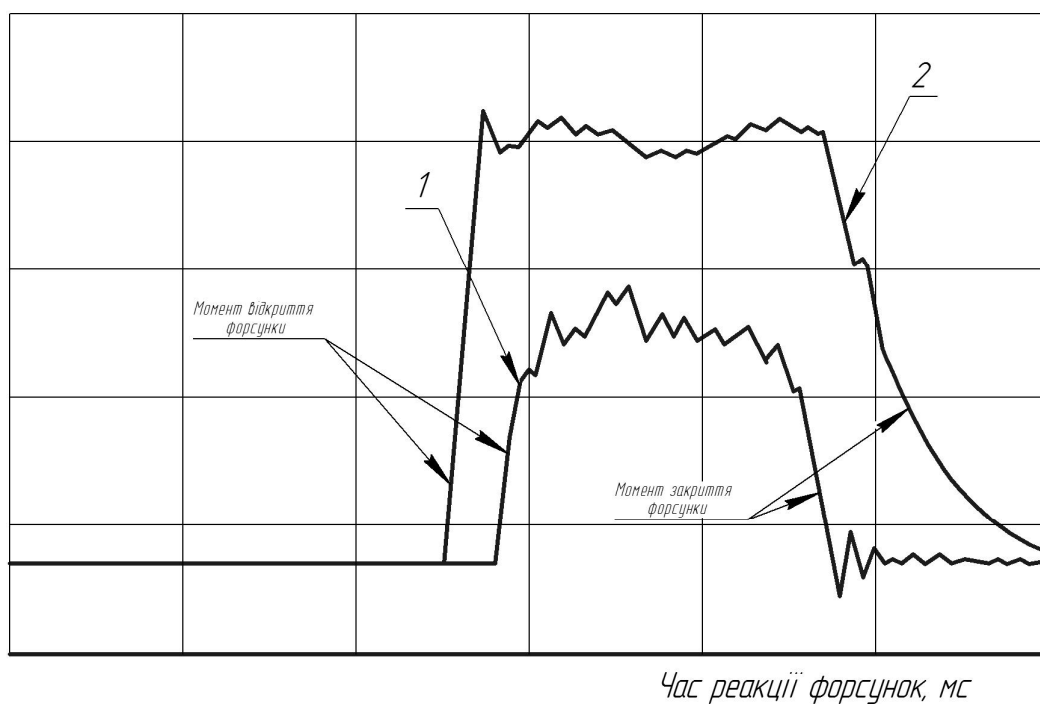


Рисунок 7 – Порівняльний графік часу відклику форсунок
Keihin та Barracuda



1 – форсунка Keihin; 2 – Hana

Рисунок 8 – Порівняльний графік часу відклику форсунок
Keihin та Hana



1 – форсунка Keihin; 2 – Matrix

Рисунок 9 – Порівняльний графік часу відклику форсунок
Keihin та Matrix

Інші дослідні форсунки Hana та Valtek йдуть з з великим відривом. Форсунки Матриця дуже швидко відкриваються, та дуже повільно закриваються, що негативно впливає на точність дозування.

2.3 Порівняльна оцінка заводських характеристик газових форсунок. До основних заводських характеристик форсунок можна віднести:

- опір котушки;
- час реакції (спрацювання);
- здатність підтримувати заводські характеристики;
- ресурс роботи.

Результати порівняльної оцінки даних заводських параметрів наводиться на рис. 10-13.

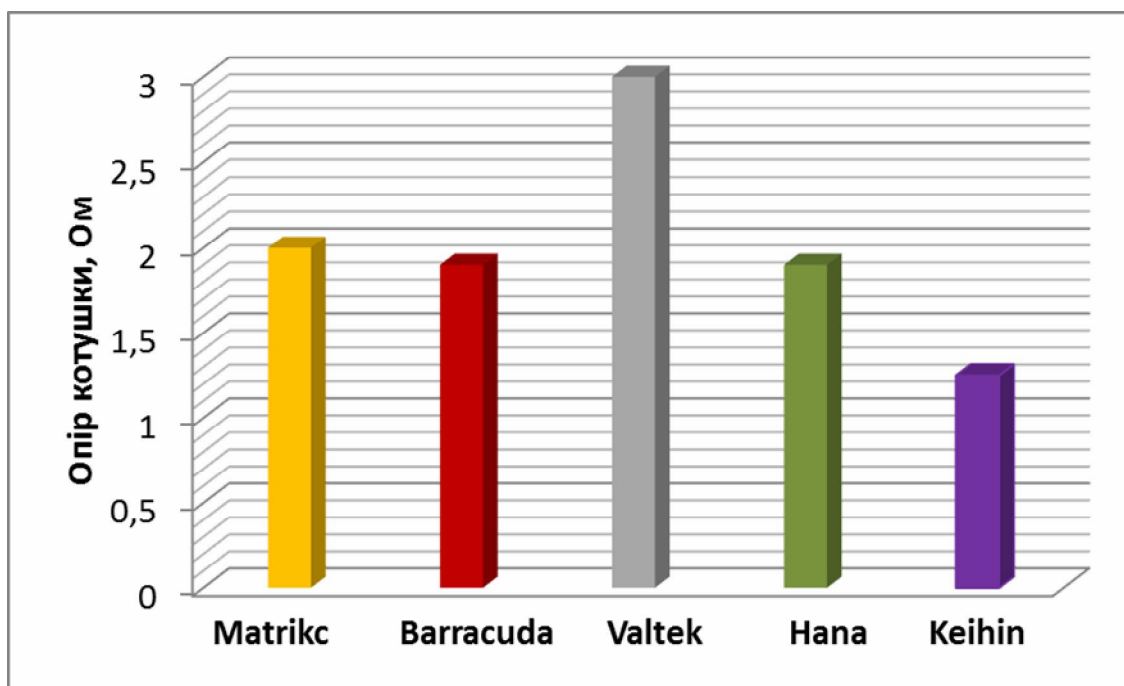


Рисунок 10 – Порівняння опорів котушки дослідних форсунок

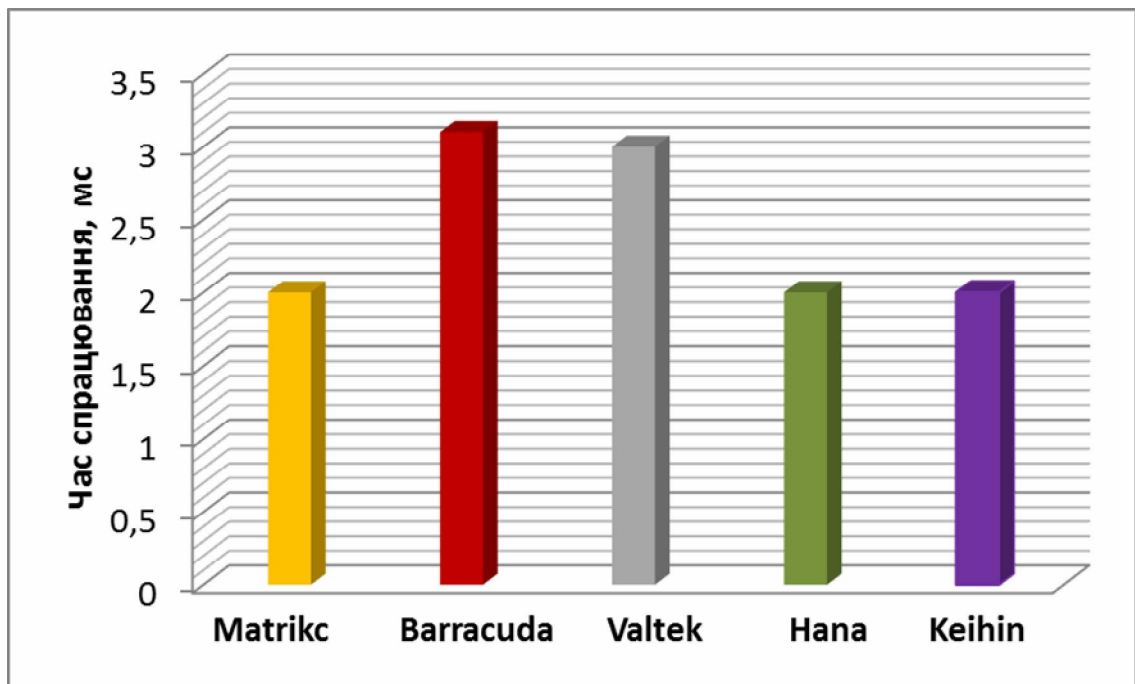


Рисунок 11 – Порівняння часу спрацювання дослідних форсунок

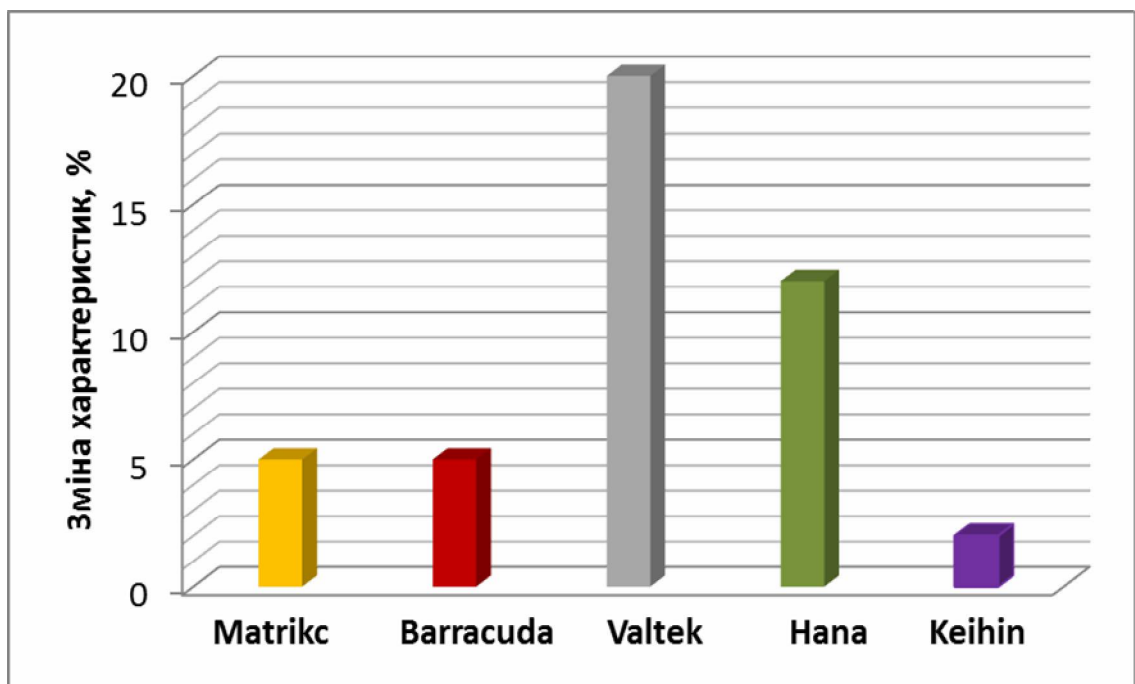


Рисунок 12 – Порівняння зміни робочих характеристик
дослідних форсунок

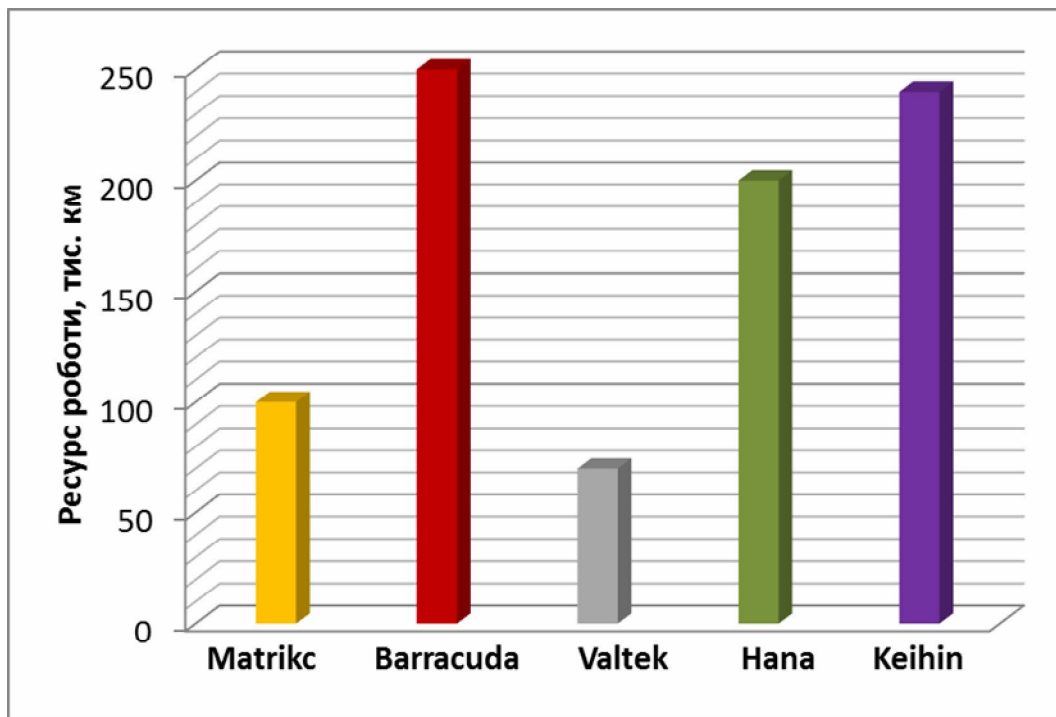


Рисунок 13 – Оцінка показників ресурсу роботи дослідних форсунок

За результатами досліджень основних заводських характеристик форсунок отримано наступні результати:

1) опір котушки впливає на час закриття та відкриття голки форсунки і за цим показником найоптимальнішим варіантом є форсунки фірми Keihin, а найгірші показники у форсунок Valtek.

2) час реакції (спрацювання) форсунок Matrix, Hana та Keihin є досить близьким становить 2 мс, що забезпечить швидку реакцію та спрацювання, а форсунки Barracuda та Valtek мають гірші показники за даним параметром;

3) Здатність підтримувати заводські характеристики в межах від 2 до 5% забезпечують форсунки Keihin, Matrix та Barracuda, а найгірші показники у Valtek – це до 20%;

4) ресурс роботи форсунок за умови проведення обслуговування найбільший у форсунок Keihin, Matrix та Hana, що становить від 200 до 250 тис. км, а найнижчий показник у форсунок Valtek та Matrix ресурс від 70 до 100 тис. км.

Висновки

За результатами дослідження встановлено, що:

1) За показником лінійності роботи найгірші дані мають форсунки Valtek, а отже використання їх на двигунах може призвести до підвищеної витрати газу, зниження продуктивності ДВЗ та прогорання клапанів.

Найкращими у даному аспекті досліджень є форсунки Keihin, а тому вони забезпечать максимальну ефективність спалювання газу на ДВЗ.

2) За часом реакції форсунок найкращі форсунки Keihin. Форсунки Barracuda, є дуже близькими за роботою до Keihin, а отже їх використання не погіршить роботу ДВЗ.

3) За заводськими характеристик форсунок:

- опір котушки найоптимальніший у форсунках фірми Keihin, а найгірші показники у форсунок Valtek;

- час реакції (спрацювання) форсунок Matrix, Hana та Keihin є досить близьким становить 2 мс, що забезпечить швидку реакцію та спрацювання, а форсунки Barracuda та Valtek мають гірші показники за даним параметром;

- здатність підтримувати заводські характеристики в межах від 2 до 5% забезпечують форсунки Keihin, Matrix та Barracuda, а найгірші показники у Valtek – це до 20%;

- ресурс роботи форсунок за умови вчасного проведення обслуговування найбільший у форсунок Keihin, Matrix та Hana, що становить від 200 до 250 тис. км, а найнижчий показник у форсунок Valtek та Matrix ресурс від 70 до 100 тис. км.

Отже, за результатами проведених досліджень рекомендованими для застосування на двигунах у процесі їх переобладнання на газ є форсунки фірми Keihin. Їх застосування забезпечить максимальну ефективність та економічність роботи ДВЗ.

Непоганими властивостями володіють також форсунки фірми Barracuda та Napa, використання яких не призведе до суттєвих погіршень техніко-експлуатаційних показників роботи ДВЗ.

Отримані результати досліджень опубліковані у фаховому виданні ІФНТУНГ [17].

Література

1. Матейчик В.П., Яновський В.В., Козачук І.С. Перевірка адекватності математичної моделі розрахунку показників двигуна з іскровим запалюванням при роботі на газовому паливі // Вісник НТУ і ТАУ, Київ – 2003. - № 7. – С.55-59.
2. Матейчик В.П., Захарчук В.І., Козачук І.С., Захарчук О.В. Особливості використання природного газу як моторного палива для транспортних засобів // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2008. – С. 127-130.
3. Девянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. – Х.: Новое слово, 2007. – 452 с.
4. Устименко В. Питання енергозабезпечення автотранспорту України в умовах світової енергетичної кризи / В. Устименко // Перевізник UA. – 2008. – №15. – С. 28–30.
5. Дикун Т. В. Біогаз із відходів на сміттєзвалищах як автомобільне паливо / Т. В. Дикун, Л. І. Гаєва, Я. М. Дем'янчук, Т. Й. Войцехівська, Я. А. Гуцуляк // Нафтогазова енергетика. - 2018. - №1. - С. 56-60.
6. Мельник В.М. Про джерела отримання альтернативного палива для двигунів внутрішнього згорання / В.М. Мельник // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк. – 2014. – № 45. – С. 346-354.
7. Шиманський С.І. Використання біогазу як моторного палива / С.І. Шиманський, Р.В. Симоненко, Л.П. Мержиєвська, А.Г. Говорун // Автомобільний транспорт: Екологія. – 2013. – №6 (236). – С. 13-15.

8. Панчук М.В. Аналіз перспектив розвитку виробництва та використання біогазу в Україні / М.В. Панчук, Л.С. Шлапак // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2016. – № 3 (60). – С. 26-32.
9. Дикун Т.В. Аналіз роботи двигунів внутрішнього згоряння на біогазі з відходів сміттєзвалищ / Т. В. Дикун, Л. І. Гаєва, Ф. В. Козак, Я. М. Дем'янчук // Нафтогазова енергетика. – 2019. – № 1(31). – С. 83-91.
10. Николаева Н. Альтернативные источники энергии для автомобилей / Н. Николаева // Автомобильный транспорт. – 2002. – № 3. – С. 43–47.
11. Луканин В.Н. Сравнительный анализ конвертации жидкотопливных двигателей в двигатели, питаемые природным газом / В.Н. Луканин, А.С. Хачиян, В.Е. Кузнецов // Экология двигателей и автомобиля. – М: НАМИ. – 2001. – С. 97–103.
12. Лютко В. Применение альтернативных топлив в ДВС / В. Лютко, В. Н. Луканин, А.С. Хачиян. – М.: МАДИ (ТУ), 2000. – 331 с.
13. Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: монографія / В. П. Матейчик. – К.: НТУ, 2006. – 216 с.
14. Савельев Г.С. Технологии и технические средства адаптации автотракторной техники к работе на альтернативных видах топлива: автореферат дис. докт. техн. наук: 05.20.01 / Г.С.Савельев. – М.: ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, 2011. – 43 с.
15. Гавриш В.І. Забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів у аграрному секторі економіки: теорія, методологія, практика: Монографія / В.І. Гавриш. – Миколаїв: МДАУ, 2007. – 283 с.
16. Захарчук О.В. Обґрунтування економічної ефективності переобладнання колісного трактора для роботи на природному газі / О.В. Захарчук // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник за напрямом “Інженерна механіка”. Випуск 46, 2014. – С. 190–194.

17. Мельник В.М. Дослідження основних параметрів та обґрунтування вибору газових форсунок для альтернативного біогазового палива / В.М. Мельник, Ф.В. Козак, М. М. Синовєрський // Нафтогазова енергетика. - 2020. - №2. - С. 81-92.