

ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОКСИДІВ АЗОТУ В БЕНЗИНОВОМУ ДВИГУНІ З РЕГУЛЮВАННЯМ ПОТУЖНОСТІ МЕТОДОМ ВІДКЛЮЧЕННЯ РОБОЧИХ ЦИКЛІВ

Ю.А. Герасимчук, інженер

В статті проведений аналіз перспективних ДВЗ із яких виділено двигун з принципово новим методом регулювання потужності відключенням окремих робочих циклів (ДРЦ). Уточнено і за допомогою програмного забезпечення відпрацьовано алгоритм роботи ДРЦ. Розроблена і виготовлена система автоматичного відбору проб газу безпосередньо з циліндра двигуна. Представлено результати експериментальних досліджень впливу робочого процесу ДРЦ на концентрацію оксидів азоту.

Двигун внутрішнього згоряння, робочі цикли, токсичність, відпрацьовані газу

Постановка проблеми. Забруднення атмосфери токсичними викидами спонукає до проведення робіт по створенню малотоксичних енергетичних установок для транспортних засобів. Такі роботи проводяться за двома основним напрямкам: зменшення токсичності традиційних ДВЗ (бензинових та дизельних поршневих двигунів) та створення принципово нових малотоксичних енергетичних установок (двигуни Стирлінга, ГТД, електричні установки з акумуляторними батареями, роторно-поршневі двигуни Ванкеля, водневі двигуни на паливних елементах). Створення конкурентоспроможних електромобілів перешкоджає відсутність енергомістких джерел живлення для електродвигунів. На жаль, сучасні акумуляторні батареї ще далекі від досконалості – вони надто важкі, мають обмежений термін експлуатації. А такі недоліки, як висока вартість виготовлення, високі вимоги до конструктивних матеріалів, складність кінематичного механізму, відсутність заправних станцій та станцій технічного обслуговування стримують використання альтернативних енергетичних установок, в якості двигунів для транспортних засобів.

Аналіз останніх досліджень. На даний час на транспортні засоби встановлюють поршневі бензинові та дизельні ДВЗ, що складають від загальної кількості теплових двигунів понад 90 % (з них 70 % – бензинові ДВЗ). Тому ближчим часом суттєве зменшення забруднення повітря можна досягнути, проектуючи менш токсичні бензинові двигуни, виробництво яких відпрацьовано і налагоджено.

Якісно новим кроком в розвитку робіт цього спрямування є створення нового методу регулювання потужності двигуна відключенням окремих робочих циклів (ДРЦ), який був розроблений та удосконалений професором Філіпповим А.З. Застосування ДРЦ на бензинових багатоциліндрових двигунах, крім зменшення концентрації продуктів неповного згоряння у відпрацьованих газах (ВГ), дає змогу в експлуатаційних умовах суттєво зменшити витрату палива, особливо в режимі холостого ходу (ХХ). Враховуючи особливості роботи ДРЦ та його складний фізико-хімічний процес згоряння збідненої паливо-повітряної суміші при постійному коефіцієнті надлишку повітря ($\alpha \approx 1,0 \dots 1,2$), концентрації CO і $C_m H_n$ у ВГ будуть на досить низькому рівні, тоді як концентрації NO_x мають максимальні значення саме при $\alpha = 1,05 \dots 1,15$. Тому актуальними є наукові дослідження про утворення оксидів азоту в циліндрі двигуна, в даному випадку ДРЦ. Також до цього часу залишається не дослідженим по параметру “токсичність” робочий цикл ДРЦ, наступний за відключеним (продувочним) циклом. На актуальність цього дослідження також вплинула велика складність нейтралізації оксидів азоту і введення жорстких світових норм, що до викидів токсичних речовин ДВЗ.

Мета досліджень. Метою є поліпшення екологічних показників та паливної економічності бензинового ДВЗ з регулюванням потужності методом відключення окремих робочих циклів за рахунок оптимізації складу паливо-повітряної суміші.

Результати досліджень. Одним з шляхів вирішення проблеми зменшення забруднення атмосфери токсичними речовинами (ТР), які викидаються з ВГ ДВЗ, а також зменшення витрати палива є зміна конструкції ДВЗ. Шляхом впровадження нових систем живлення (форкамерно-факельне запалювання, розшарування суміші, підвищення інтенсивності турбулентності заряду в звичайній камері), які дозволяють працювати на Perezbіднених сумішах з $\alpha > 1,2$, покращуються характеристики бензинових ДВЗ по параметру токсичності.

Із всіх можливих методів вдосконалення робочого процесу, який одночасно знижує токсичність ВГ та покращує паливну економічності ДВЗ, слід виділити принципово новий метод регулювання потужності відключенням окремих робочих циклів. Застосування ДРЦ на бензинових багатоциліндрових двигунах, крім зменшення концентрації продуктів неповного згоряння у ВГ (в 1,5...3 рази), дає змогу в експлуатаційних умовах зменшити витрату палива на 20...30 %, а при роботі в режимі ХХ до 50 %. Підвищення паливної економічності ДРЦ забезпечується завдяки більш високим і стабільним значенням індикаторного ККД в порівнянні зі

стандартним способом регулюванням потужності (дроселюванням). При цьому також збільшується максимальна потужність двигуна. ДРЦ не вимагає значних змін в конструкції, а застосування бензовпорскуючої апаратури з електронним управлінням циклової подачі дозволяє здійснити регулювання вказаним способом досить просто та надійно.

Сутність методу регулювання потужності відключенням окремих робочих циклів полягає в тому, що зміна потужності здійснюється завдяки зменшенню (або збільшенню) кількості робочих циклів шляхом припинення подачі палива в камеру згорання, забезпечуючи цим самим отримання необхідної потужності. Не дивлячись на всебічні і досить глибокі дослідження, проведені в роботі, удосконалення ДРЦ потребує подальших теоретичних і експериментальних досліджень робочого процесу в робочому циклі та робочому циклі, наступному за відключенням (РЦНВ). На рис. 1 представлені основні елементи паливної апаратури ДРЦ, в складову якої входять: електромагнітні форсунки 1, мікроконтролер 2, аналого-цифрові перетворювачі 3, мікропроцесор 4, пристрій, що формує сигнали управління 5, джерело живлення 6, вузол синхронізації 7, вузол управління відключенням циклів 8, вузол повітряної заслінки 9, датчики температури охолоджуючої рідини 10, електробензонасос 11, фільтр палива 12, редукційний клапан 13.

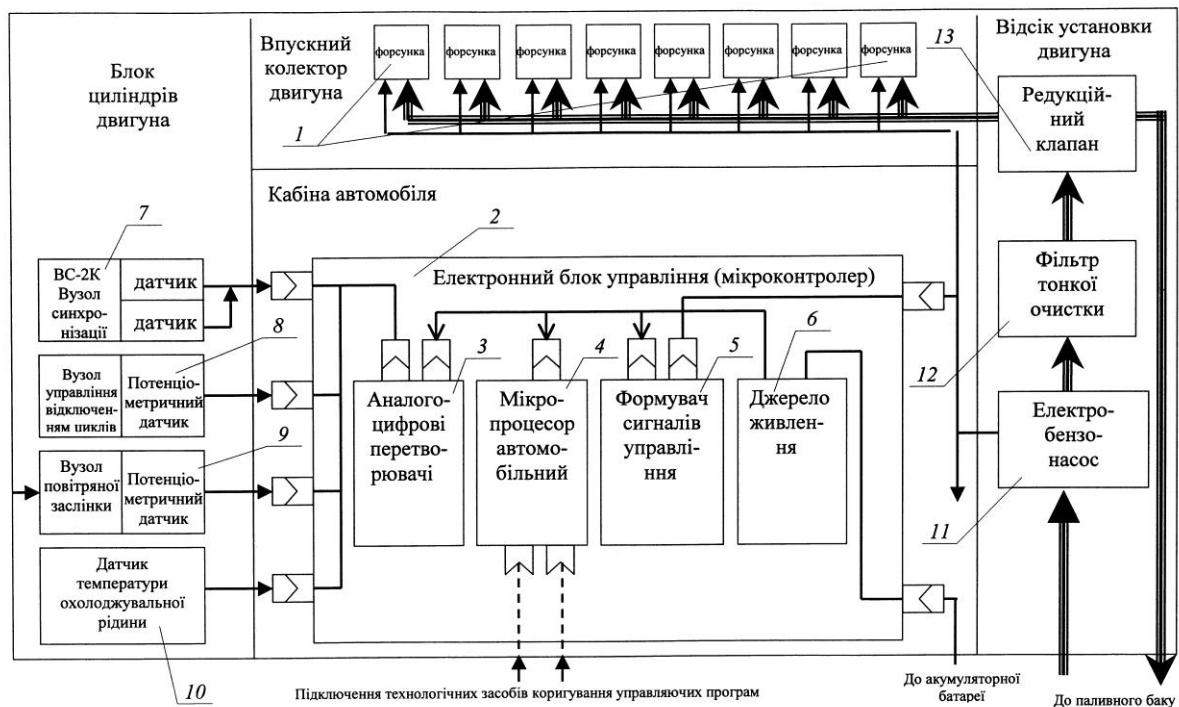


Рис. 1. Функціональна схема системи живлення бензинового ДРЦ.

Після виконання теоретичних досліджень утворення оксидів азоту в робочому циклі ДРЦ, а також в робочому циклі, наступному за відключенням, були проведені експериментальні дослідження визначення концентрації NO_x для підтвердження розрахункових даних з експериментальними. Визначення концентрацій в пробах газу робочих циклів ДРЦ проводили при зміні α в межах 0,95...1,2, зміною циклової подачі, тобто зміною тривалості імпульсу на електромагнітну форсунку в діапазоні $\tau = 8...15$ мс.

Запропонована і розроблена конструкція системи автоматичного газовідбору з електромагнітним газовідбірним клапаном (ЕМГК), яка дозволяє взяти пробу газу в період такту розширення в точно визначений момент (Патент № 51494, 72969). Проби газу відбирались безпосередньо з циліндра ДРЦ, а концентрації NO_x проводилось хімічним методом зі скляної вакуумованої колби.

Схема ЕМГК представлена на рис. 2, яка функціонує наступним чином. Від контролера управління впорскуванням палива 7 подається сигнал на електронний блок управління 16 ЕМГК. Туди ж поступає імпульс від датчика обертів колінчастого вала 1. Імпульс на ЕМГК регулюється за допомогою кнопки 11, і клавіатури 14. Тривалість імпульсу знаходиться в межах 5...40 мсек і може змінюватись за допомогою відповідно кнопок 12 і 14. За допомогою перемикача 8 електронний блок може забезпечити три режиму роботи: 1- одноразовий відбір - при натисканні на кнопку 15 на ЕМГК подається один імпульс; при натисканні на кнопки 13 і 14 забезпечується багаторазова кількість імпульсів; при натисканні на кнопку 15- отримаємо ручне управління безперервною кількістю імпульсів. Відкриття клапана відбувалося в момент закінчення процесу згоряння і становило ~ 500 л.к.в. після ВМТ. Закриття клапана відповідно ~ 200 . Відкритий стан клапана залишався на протязі 1100 л.к.в., що дає змогу робити відбір проб газу при частоті обертання КВ до 2000 хв^{-1} .

При визначенні концентрації оксидів азоту в робочих циклах ДРЦ застосовувався метод з саліциловою кислотою, який полягає у взаємодії оксиду і двооксиду азоту з 1 %-ним розчином перекису водню. Цей метод рекомендовано в хімічній промисловості для контролю якості атмосферного повітря.

В табл. 1 представлені експериментальні дані та результати обчислень вмісту оксидів азоту в робочому циклі ДРЦ, а також в робочому циклі наступному за відключенням, при різних коефіцієнтах надлишку повітря α . При проведенні експерименту проводилось індиціювання двигуна, а також визначалась максимальна температура згоряння T_z , яка обчислювалась відповідно до

отриманих індикаторних діаграм робочого циклу ДРЦ становила 2380 K, а після 1-го відключеного циклу зменшилась на 8...10 % і становила 2177 K.

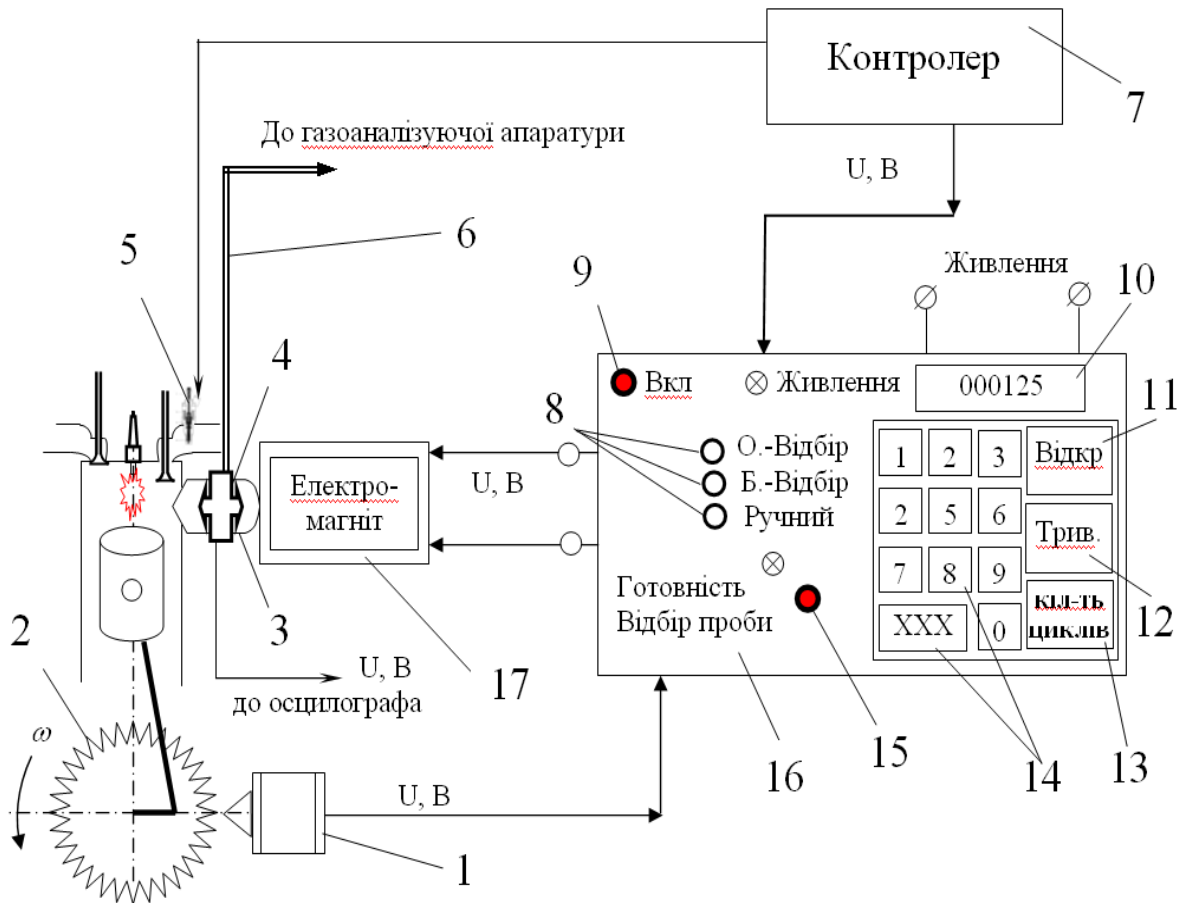


Рис. 2. Система автоматичного відбору газу з циліндра ДВЗ.

1. Протокол випробування двигуна ЗМЗ-53 та визначення концентрацій NO_x в робочих циклах ДРЦ.

Робота ДРЦ	α	P_z^{\max} , МПа	T_z^{\max} , експ. цикла, К	T_z^{\max} , теор. цикла, К	NO_x , розрах., $млн^{-1}$	NO_x , експ., $млн^{-1}$
Робочий цикл ДРЦ (РЦ)	0,95	4,6	2225	2624	~ 1080	1230
	1,0	4,7	2294	2647	1324	1440
	1,05	4,6	2331	2665	2078	1980
	1,1	4,5	2380	2687	1742	1350
	1,15	4,3	2194	2581	1163	760
	1,2	3,9	2065	2493	846	647
РЦНВ	0,95	5,1	2093	2408	~ 880	780
	1,0	5,3	2119	2422	943	1020
	1,05	5,2	2145	2438	1497	1280
	1,1	4,9	2177	2460	1212	974
	1,15	4,6	2084	2362	791	460
	1,2	4,2	1897	2281	573	385

При експерименті, ці цифри складають 1980 млн^{-1} та відповідно 1280 млн^{-1} , при цьому концентрація NO_x зменшується на 36 %. Збіг дослідних даних з теоретичними розрахунками в межах 50 млн^{-1} переконливо свідчать про достовірність отриманих результатів.

На рис. 3 приведені дані теоретичних (розрахункових) концентрацій оксиду азоту в робочих циклах ДРЦ (пунктирні лінії) та відповідно експериментальні дані (суцільні лінії). Аналізуючи графіки, які побудовані відповідно до розрахункових і дослідних даних, зафіксована закономірність, згідно якої, концентрації NO_x в робочих циклах ДРЦ, наступних після відключеного, будуть значно нижчими в порівнянні від робочих циклів ДРЦ.

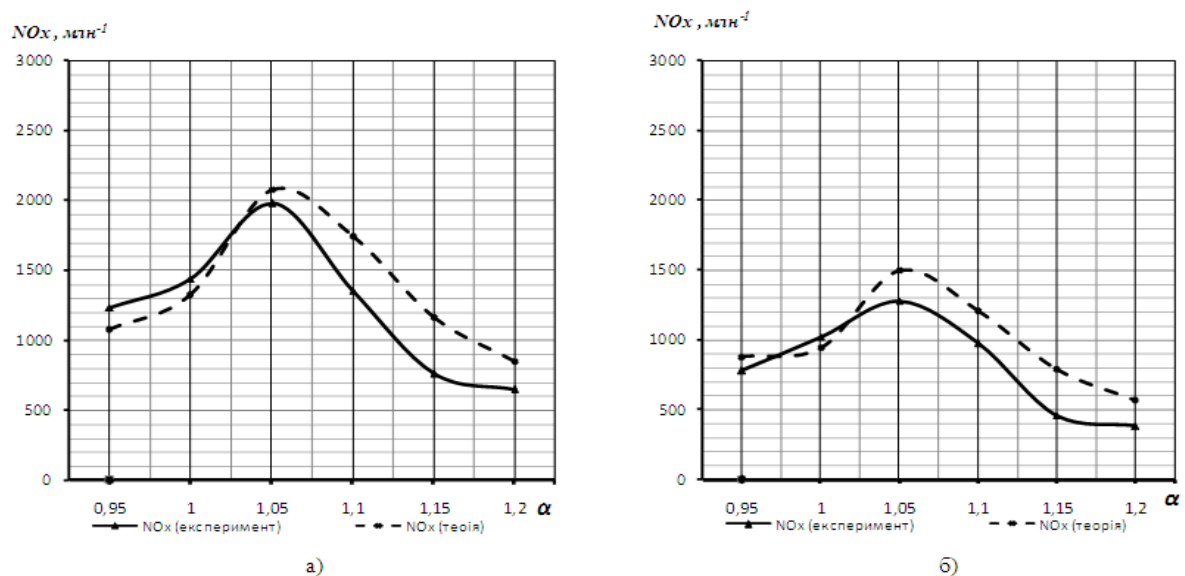


Рис. 3. До оцінки адекватності математичної моделі виходу оксидів азоту робочого циклу ДРЦ (а) та робочого циклу, наступного за відключеним (б)

Висновки

1. Одним із шляхів для покращення екологічних і економічних показників роботи двигунів є удосконалення робочого процесу бензинового ДВЗ. До таких напрямків належить застосування методу регулювання потужності відключенням окремих робочих циклів (ДРЦ).

2. Розроблена схема і виготовлена конструкція системи живлення з регулювання потужності відключенням окремих робочих циклів для 8-ми циліндрового бензинового двигуна ЗМЗ-53.

3. Розроблена і виготовлена система автоматичного відбору проб газу безпосередньо з циліндра двигуна, яка захищена патентами України [Патенти України № 51494, №72969];

4. Розроблена методика отримання газових проб в робочих циклах ДРЦ та визначення концентрації оксидів азоту NO_x в пробах газу.

5. За результатами експерименту встановлено, що концентрація NO_x в робочому циклі, наступному за відключеним зменшується на ~25...40 % (теорія) та відповідно на 36 % (експеримент), в порівнянні з робочим циклом ДРЦ.

Список літератури

1. *Вибе И.И.* Новое о рабочем цикле двигателей / *И.И. Вибе.* – М.: Машгиз, 1962. – 271 с.
2. *Звонов В.А.* Токсичность двигателей внутреннего сгорания / *В.А. Звонов* ; [2-е изд., перераб]. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с., ил.
3. *Зельдович Я.Б.* Окисление азота при горении / *Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А.* – М., Изд-во АН СССР, 1947. – 147 с.
4. *Гордон А.В.* Электромагниты постоянного тока / *А.В. Гордон, А.Г. Сливинская.* – М.: Государственное энергетическое издательство, 1960. – 140 с.
5. *Гутаревич Ю.Ф.* Запобігання забрудненню повітря двигунами / *Ю.Ф. Гутаревич.* – К.: Урожай, 1982. – 64 с.
6. *Куценко А.С.* Моделирование рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания на ЭВМ / *А.С. Куценко.* – К.: Наукова думка, 1988. –104 с.
7. *Филиппов А.З.* Токсичность отработавших газов тепловых двигателей / *А.З. Филиппов.* – К.: Вища школа, 1980. – 160 с.

В статье проведен анализ перспективных двигателей внутреннего сгорания, из которых выделен двигатель с принципиально новым методом регулирования мощности способом отключения отдельных рабочих циклов (ДРЦ). Уточнен и с помощью программного обеспечения отработан алгоритм работы ДРЦ. Разработана и изготовлена система автоматического отбора проб газов непосредственно из цилиндра двигателя. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния рабочего процесса ДРЦ на концентрацию оксидов азота

Двигатель внутреннего сгорания, рабочие циклы, токсичность, отработанные газы.

In paper the results of experimental researches of influence ecological characteristics of internal combustion engines (ICE) by control of every cycle of engine operation. Our work focuses on more accurate measurement of burnt gases (nitrogen oxides) directly in combustion chamber, providing information for deeper understanding of chemical processes going on during burning of fuel in combustion chamber. It will help to devise better algorithms for controlling gasoline engine electronically.

Internal combustion engine, work cycle, pollution, exhaust gases.