

Вахнюк С.А.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет***АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ВІДКЛЮЧЕННЮ ЧАСТИНИ ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ПРИ ЗМЕНШЕННІ НАВАНТАЖЕНЬ НА АВТОМОБІЛЬ**

У статті на основі літературних джерел був проведений аналіз методів покращення економічних та екологічних показників транспортних засобів, шляхом застосування в двигуні внутрішнього згоряння режиму відключення частини циліндрів, при забезпеченні надійності та функціональної стабільності колісних машин. Визначені проблеми в цьому питанні а також перспективи подальших досліджень.

Двигуни внутрішнього згоряння, що застосовуються на автомобільному транспорті працюють у постійно змінюваних навантажувальних режимах. При цьому більшість часу займають режими малих навантажень та ХХ. При цьому, номінальна потужність двигуна використовується лише частково.

Одним із альтернативних способів підвищення ефективності роботи багатциліндрових двигунів, в режимі роботи на холостому ході та часткових навантажень, можна здійснити за рахунок регулювання навантаження зміною робочого об'єму двигуна шляхом відключення частини працюючих циліндрів.

В роботі розглянуті різні способи реалізації відключення циліндрів двигуна, які діляться на дві великі групи: це зупинка кривошипно-шатунного механізму (КШМ) (модульний ДВЗ) та відключення системи живлення.

Результати дослідження показали, що деактивація частини циліндрів шляхом плавного чи ступінчастого регулювання об'єму або модульного відключення частини циліндрів, за підрахунками дослідників цього питання, призводить до суттєвого рівня економічності палива на ХХ і малих навантаженнях, за рахунок зупинки поршнів, не менш ніж 30 % та збільшення міжремонтного ресурсу на 27 %.

Не дивлячись на велику кількість досліджень і наукових публікацій по проблемі відключення частини циліндрів у ДВЗ, на сьогоднішній день залишається ряд питань, які потребують більш глибокого вивчення.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, потужність, режим холостого ходу, навантаження, відключення частини циліндрів, відключення системи живлення, економія палива, робочий об'єм.

ВСТУП

На сьогоднішній день найгострішими у світі є дві проблеми, економія енергетичних ресурсів та зменшення навантаження на довкілля. Перевізники вантажів та пасажирів все більше звертають увагу на паливну економічність автомобілів, оснащених двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), що суттєво впливає на вартість перевезень і є одним із основних показників експлуатаційних характеристик автомобіля [1]. Головним завданням для машинобудівників є підвищення енергоефективності транспортних засобів, що в свою чергу дозволить зменшити витрати палива, знизити викиди відпрацьованих газів і зменшити вплив на довкілля.

Відомо, що ДВЗ всіх транспортних засобів в дійсності працюють в основному на режимах, що не потребують максимальної потужності, при цьому в місті ДВЗ в більшості часу працюють в режимі холостого ходу (ХХ) що від загального часу може становити до 25%. Режими ХХ і малі навантаження є неефективними, з позиції згоряння палива при традиційному дроселюванні, тому їм притаманні низький коефіцієнт корисної дії (ККД). В цьому випадку метод регулювання потужності двигуна шляхом відключення частини циліндрів (ВЧЦ) на режимах часткових навантажень і холостого ходу є одним з ефективних способів економії палива.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Вперше ідея підвищення ефективності роботи бензинових ДВЗ за рахунок відключення частини циліндрів зародилася в 1905 р. в США [1], а потім в 1917 р. була далі продовжена [1, 2] та передбачала деактивацію 6-ти циліндрів у двигунах з 12-ю циліндрами.

Не відставала в цьому напрямку і Україна де в Національному транспортному університеті та Державтотранс НДІ проєкті Мінтрансу проводились дослідження на автомобілі МАЗ-500 з V-подібним 6-циліндровим дизелем ЯМЗ-236 ще наприкінці 1970-х років та на дизельному ДВЗ Д-50. Харківська державна академія залізничного транспорту в свою чергу проводила дослідження на двотактному Д-100 і чотиритактних тепловозних дизелях типу 6ЧН 31,8/33 (ПДГ1М), 12ЧН 14/14, 6ЧН 26/26, 8ЧН 26/26, 16ЧН 26/26, і на тракторних дизелях 4Ч 12/14 (СМД-14) і 6ЧН 13/11,5 (СМД-62). А Київський національний університет будівництва й архітектури на дизелях будівельних машин [1, 3].

В своїх роботах [1-5 та багато ін.] дослідники вивчали не тільки найпростіші способи відключення циліндрів шляхом припиненням подачі палива, а так і складніші: коли поряд із

припиненням подачі палива одночасно здійснювалось примусове закриття або відкриття клапанів в циліндрах і таким чином відбувалось живлення відпрацьованими газами непрацюючих циліндрів від працюючих.

В 1966 р. проф. Андрусенко П.І. вперше запропонував регулювати потужність ДВЗ методом відключенням окремих робочих циклів [1], цей метод детально дослідив в НТУ проф. Філіппов А.З. [1] відносно багатциліндрових бензинових поршневих та роторно-поршневих двигунів. Що стосується дизельних ДВЗ, дослідження цього методу проводились в НУБіП України [3] та НУК імені адмірала Макарова [5]. Дослідження відносно дизелів, які проводились на протязі 15 років, підчас яких вивчено понад 5000 інформаційних джерел, показали, що в серійному виробництві метод відключення циліндрів був застосований тільки на тракторі Т-100М з двигунами Д-108, Т-130М, Д-160 і на автомобілі IFA W50LA з двигуном 4VD 14,5/12-1SRW [1].

В країнах далекого зарубіжжя також проводились подібні дослідження такими вченими, як Bemman Y.-J., Bowles P., Batteh J., Douglas K.J., Falkowski A., McElwee M., Bonne M., Fukui T., Howard G., Jost K., Kreuter P., Leone T.G., Pozar M., Moskwa J., Mangun D., Lemke A., Lahti J., Pischinger M., Sandford H., Allen J., Tudor R., Vinodh B., Univ A., Watanabe E., Fuetani I., Zheng Q., Zmudka Z., Postrzednik S., Ciesiolkiewicz A., Zammit J.P., McGhee M.J., Shayler P.J., Zammit J.-P., McGhee M.J., Shayler P.J., Pegg I., Mo H., Huang Y., Mao X., Zhuo B., Yang J., Quan L., Yang Y., Xin Q. (H.), Manna S. та інші [1].

На сьогодні ДВЗ у процесі доробки і тривалої експлуатації в своєму виконанні прийшли до свого завершення, класична схема з кривошипно-шатунним механізмом (КШМ) вже не в змозі забезпечити подальше удосконалення двигуна і покращення його експлуатаційних властивостей, тобто резерви покращення показників сучасних ДВЗ практично вичерпано.

ДВЗ основну частину часу працюють в режимі малих та середніх навантажень тому метод регулювання потужності відключенням циліндрів, в сучасному двигунобудуванні, набуває все більшого практичного застосування. Одним із перспективних в цьому плані вважається модульне відключення циліндрів [6].

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі літературних джерел провести аналіз методів покращення економічних та екологічних показників транспортних засобів, шляхом застосування в двигуні внутрішнього згоряння режиму відключення частини циліндрів, при забезпеченні надійності та функціональної стабільності колісних машин. Виявити які на сьогоднішній день є маловивченими проблеми в цьому питанні а також перспективи подальших досліджень і впроваджень у виробництво.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Майже і всіх проведених дослідницьких роботах доведено, що, при застосуванні методу ВЧЦ, паливна економічність може бути покращена, в залежності від способу та засобу реалізації методу, в межах від 3% до 25%, з одночасним покращенням і екологічних показників. В окремих випадках, в залежності умов експлуатації та категорії колісної машини, економія палива на режимах ХХ досягала навіть 40 % [1].

Основною причиною погіршення економічних характеристик бензинових ДВЗ в умовах роботи двигуна з частковим навантаженням є те що дросельна заслінка практично закрыта і двигун повинен всмоктувати необхідну кількість повітря для роботи ДВЗ (рис. 1).



Рисунок 1. Положення дросельної заслінки [7]

Це призводить до так званих втрат при прокачуванні і подальшого зниження ефективності роботи ДВЗ.

При роботі дизеля за малих подачах палива, малих циклових подач істотніше позначається витік палива через обмежену гідравлічну густину плунжерних пар, що разом із низкою інших

чинників призводить до зменшення тиску розпилювання і збільшення числа великих крапель у факелі.

Під час тривалої роботи дизелів на часткових навантаженнях спостерігається закоксовування розпилювачів форсунок і збільшення нагароутворення в камері згорання.

Серед альтернативних способів підвищення ефективності роботи багатоциліндрових двигунів також є регулювання робочого об'єму двигуна. Шляхом зміни кількості працюючих циліндрів ми регулюємо навантаження на двигун. Багато провідних автомобілебудівних компаній на своїх двигунах вже застосовують систему відключення групи циліндрів (рис. 2) [8, 9].



Chrysler 5.7L HEMI V8

GM Vortec 5.3L V8

Рисунок 2. ДВЗ з відключенням груп циліндрів [8, 9]

Основна ідея цього способу зводиться до того, щоб за рахунок відключення частини циліндрів забезпечити роботу двигуна в широкому діапазоні часткових навантажень на економічному складі суміші. При цьому кожен із невимкнених у цей момент циліндрів може працювати в зоні мінімальних питомих витрат палива, що призводить до підвищення економічності двигуна в цілому. При такому вирішенні питання само собою вирішується і питання погіршення, на часткових режимах, показників ДВЗ із-за зменшеного кута відкриття дросельної заслінки [10]. Відпадає необхідність кількісного регулювання потужності в бензинових двигунах в зв'язку з необхідністю дроселювання суміші на впуску (рис 1).

Застосування вимкнення частини циліндрів на ХХ в дизельному ДВЗ дасть змогу збільшити навантаження циліндрів, які працюють, і вивести їх із несприятливої зони малих подач.

На сьогоднішній день існують дві групи відключення частини циліндрів, це [15]:

- зупинка кривошипно-шатунного механізму (КШМ);
- відключення системи живлення.

Найефективнішим способом деактивації циліндрів є зупинка КШМ. При застосуванні даного способу економія палива може сягати до 40%. Під час проведення випробувань автомобіля Alfa-Romeo 301.2, на який встановлено модульний двигун, по їздовому циклу Правил №15 ЄЕК ООН було досягнуто паливної економії на рівні 24,5%-38,2%. Результати випробувань залежали від маси встановленого вантажу [15].

Щоб створити модульний двигун конструктори стикаються з складними завданнями. Виконання цих завдань тягне за собою зниження надійності а також збільшення витрат на проведення їх технічного обслуговування, яке повинні проводити більш кваліфікований обслуговуючий персонал [15].

Для відключення системи живлення від циліндрів застосовують два способу:

- припиняють подачу свіжого заряду в циліндри;
- припиняють подачу палива в циліндри.

Для припинення подачі свіжого заряду в циліндри зупиняють клапанний механізм. Розрив кінематичного зв'язку між деталями газорозподільного, в системі відключення клапанів, виконує блокувальний механізм з електромагнітним або гідравлічним приводом [15].

Застосування цього способу є дуже складним в плані виконання самого механізму газорозподілу а також застосування системи управління. Також, при такому способі відключення системи живлення, в робочі камери циліндрів іноді потрапляє олива [10, 15].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Регулювання (зміна) робочого об'єму двигуна

Більшість автомобілів працюють в умовах коли змінюються навантаження на їх складові, а саме на ДВЗ. В більшості часу їм приходится працювати в режимах холостого ходу і малих навантажень. В таких режимах ДВЗ використовують лише частину своєї номінальної потужності від тої що була в них закладена. Для збільшення паливної економічності і моторесурсу ДВЗ пропонується використання на автомобільному

транспорті силові установки зі змінним об'ємом. При зміні навантаження на ДВЗ застосовують ступінчасту або плавну зміну робочого їх об'єму.

Плавне регулювання робочого об'єму.

У ДВЗ робочий об'єм циліндра визначають двома основними параметрами: діаметром циліндра і ходом поршня. Змінити діаметр циліндра під час роботи практично неможливо, тому варіанти регулювання об'єму пов'язані переважно зі зміною ходу поршня. Відомий дослідний двигун, у якому було реалізовано змінний хід поршня. Це був п'ятициліндровий мотор з діаметром циліндрів 85,7 мм, де хід поршня міг змінюватися від 26 мм до 108 мм [11]. За умови, коли хід зменшувався з 102 мм до 51 мм, знижуються механічні втрати на 40 %, це позитивно впливало на ефективність роботи (рис.3).

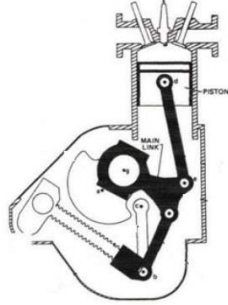


Рисунок 3. Схема двигуна Poliot [11]

Економія палива в цих дослідженнях була отримана на рівні 25% - 30 %.

Ступінчасте регулювання об'єму.

Відомо про кілька напрямків, при яких кількість працюючих циліндрів регулюються за ступінчастою зміною робочого об'єму.

Самим простим способом вважається припинення подачі у відключені циліндри палива [11].

Метод відключення в ДВЗ окремих робочих циклів є модифікацією відключення подачі палива. Повна зупинка газорозподілу, при утриманні в закритому стані його клапанів, вважається самим прогресивним способом відключення частини циліндрів.

Новітні системи подачі палива значно спрощують питання впровадження методу відключення окремих робочих циклів, тож цей метод потребує глибшого його вивчення.

Вся сутність даного методу полягає в тому, що під час зменшення (або збільшення) кількості навантажувальних робочих циклів, за рахунок припинення подачі палива в циліндри двигуна, відбувається і зміна навантаження. Цей метод застосовувався з метою зменшення закоксовування розпилювачів форсунок на холостому ході, а також для зниження витрати палива на цьому режимі .

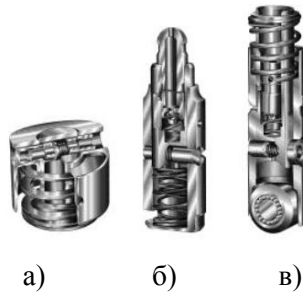
Стрімкий розвиток двигунобудування, з використанням прогресивних систем і механізмів, створює реальні можливості для впровадження методу відключення окремих робочих циклів, який у порівнянні з методом відключення циліндрів має ряд суттєвих переваг, в поєднанні з акумуляторною системою паливоподачі типу Common Rail та альтернативними газорозподільними механізмами, можна забезпечити найоптимальніші параметри робочого циклу дизеля, а регулювання його потужності при цьому здійснювати не зміною кількості впорскуваного в циліндр палива, а зміною частоти робочих циклів [1].

Щоб змінити об'єм двигуна розглянемо спосіб відключення системи живлення. Відключити циліндри від системи живлення, як було визначено раніше, можна двома способами: припиненням подачі свіжого заряду в циліндри або припиненням подачі палива в циліндри [15].

Утримання клапанів в закритому стані, для зупинки газообміну, здійснюється трьома шляхами за рахунок застосування [11]:

- штовхачів і гідроопор клапанів спеціальної конструкції;
- складених коромисел клапанів, наявність зв'язку між частинами яких визначається потребою у роботі даного циліндру;
- кулачків розподільчого валу, який має можливість переміщуватись в осьовому напрямку, різної форми.

Застосування даних систем, як відмічають автовиробники, покращує паливну економічність приблизно на 8-12 %. Системи подібних типів знайшли поширення у двигунах, що випускаються серійно (рис. 4) [11].



а – верхнє розташуванні розподільчого валу і приводу клапанів штовхачем; б – верхнє розташування розподільчого валу і приводу клапанів через важіль; в – нижньому розташуванні розподільчого валу.
Рисунок 4. Механізми зупинки клапанів газорозподілу [11]

Система управління циліндрами дозволяє відключати деякі циліндри при невеликому навантаженні на двигун. При цьому дросельна заслінка відкривається для забезпечення необхідної потужності.

Двигуни концерну GMC Vortec 5.3L V8 і Vortec 6.0L V8 об'ємом 5,3 і 6,0 в своїй більшості оснащені системою відключення 4-х циліндрів DOD (Displacement On Demand) [12], яка має більш загальну назву – активна система керування витратою палива AFM (Active Fuel Management), завдяки якій, при відключенні, паливо подається тільки в чотири циліндри з восьми з зупинкою впускних та випускних клапанів. Відключення клапанів відбувається за допомогою блоку соленоїдів, які діють на гідравлічні складові системи відключення клапанів та знаходяться між головками блоку циліндрів (рис. 5)

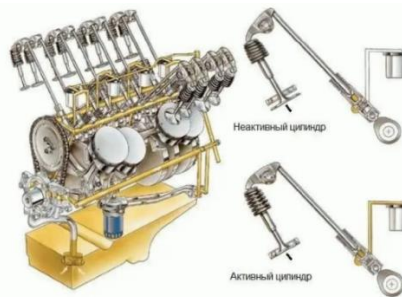


Рисунок 5. Система керування витратою палива AFM (Active Fuel Management) [12]

Концерн Volkswagen розробив систему вимкнення циліндрів, яка отримала назву ZAS - Zylinderabschaltung [12]. Ця система дозволяє вимикати з роботи половину циліндрів двигуна. Її застосування планується на рядному 4-циліндровому та V-подібному 8-циліндровому двигунах з об'ємом 1,4 та 4 л відповідно (рис. 6).

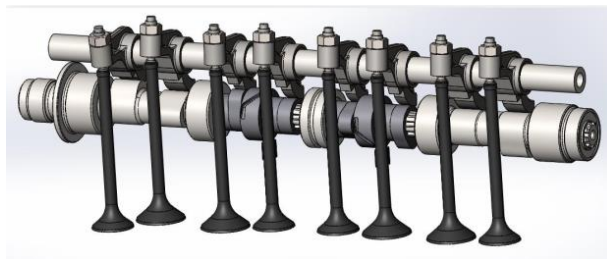
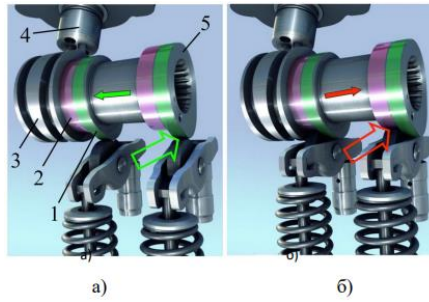


Рисунок 6. Загальний вид механізму відключення циліндрів [12]

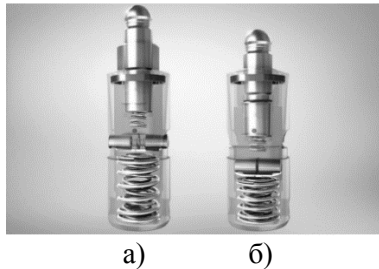
Під час подавання сигналу від системи ZAS на електромагніт голівки керування 4 його якір входить в одну з гвинтових канавок 3, що розміщені на ділянках розподільного валу (рис. 7, а). Це змушує розподільний вал 5 пересунути в напрямку стрілки (рисунок 7, б) і в такий спосіб задіяти контактну поверхню 2, по якій ковзатиме коромисло відповідного клапана.



1 - робоча поверхня розподільного вала; 2 - контактна поверхня розподільного вала; 3 - ділянка розподільного вала з нарізаними гвинтовими канавками; 4 - головка блока керування положенням розподільного вала; 5 - розподільний вал
Рисунок 7. Технологія деактивації циліндрів ZAS [12]

Для автомобілів Mercedes інженери концерну розробили атмосферний V подібний 8-циліндровий двигун з $V_h = 5,5$ л, в якому застосовано принципово нову систему деактивації циліндрів Mercedes Cylinder Management (MCM) [14]. Ця система дає змогу виключати з роботи частину циліндрів. Відключення/включення груп циліндрів відбувається приблизно за 30 мс.

На рис. 8 зображено загальний вигляд блокувальних опор системи Mercedes Cylinder Management.



а) при активованому циліндрі; б) циліндр деактивовано
Рисунок 8. Блокувальні опори системи Mercedes Cylinder Management [14]

Система Multi-Displacement System (MDS) була розроблена в 2004 р. для двигуна типу Hemi V8 об'ємом 5.7 л. Цей двигун має систему газорозподілу з нижнім розташуванням розподільного вала. Для вимкнення циліндра (шляхом утримання клапанів у закритому стані) застосовуються штовхачі спеціальної конструкції, принцип роботи яких подібний до блокувальних опор системи Mercedes Cylinder Management. Загальний вигляд двигуна із системою MDS представлено на рисунку 9. [13]



Рисунок 9. Система Multi-Displacement System [13]

Система може виключити з роботи 4 з 8 циліндрів. Час спрацьовування становить 40 мс. Паливо не надходить у відключені циліндри, а електронне керування дросельною заслінкою дає змогу здійснювати підтримку потужності двигуна в перехідний період. Використання системи MDS дало змогу зменшити витрату пального на 10 - 20%. Система активується за швидкості автомобіля вище 30 км/год і числа обертів двигуна нижче 3000 хв-1.

В своїй роботі [15] А. О. Молодан розробив математичну модель і методику, що визначають сили та моменти які діють в КШМ ДВЗ, при його роботі на режимах ХХ і часткових навантажень. Ця методика дозволяє оцінити вплив ВЧЦ на динамічні характеристики двигуна. Експериментальні дослідження на

автомобілі КраЗ – 255б та стендові випробування двигуна КамАЗ-740.1 з використанням системи управління паливоподачею при ВЧЦ показали зниження витрати палива ДВЗ, що працює на режимах ХХ та часткових навантажень, до 30% та збільшення міжремонтного ресурсу до 27%. Для керування роботою двигуна А. О. Молодан розробив систему керування, що дозволяє задавати різні програми і може використовуватися при виборі найбільш оптимального варіанту ВЧЦ у двигунів різних розмірних груп [15].

Модульне відключення циліндрів.

По мірі підвищення навантаження, в ДВЗ з модульним ВЧЦ, в роботу вступають декілька роздільних (по кількості циліндрів) окремих частин (секцій, модулів). В цих частинах можливо зупиняти поршні при збереженні робочого процесу в інших. У відключених модулях в циліндро-поршневій групі відсутні втрати на тертя і газообмін, в зв'язку з тим що поршні нерухомі. В порівнянні з іншими методами ВЧЦ це надає йому суттєву перевагу [15].

Застосування з'єднувальних муфт.

В більшості варіантів по модульному відключенню циліндрів пропонується використовувати розрізний колінчастий вал, зв'язок між частинами якого забезпечується за допомогою спеціальних муфт. Циліндри в такому варіанті відключаються не по одинці, а групами.

Один з варіантів такої ідеї пропонує застосовувати зубчасту муфту [11]. Зубчаста муфта виконана за принципом синхронізатора коробки передач. Синхронізація частин колінчастого валу за робочим процесом відбувається завдяки асиметричному розташуванню зубців зубчастої муфти, за швидкістю – за рахунок конічної тертьової поверхні (рис. 10) [11].

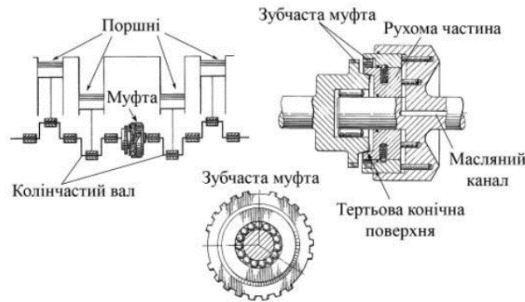


Рисунок 10. Ідея розрізного колінчастого валу [11]

Також для зв'язку між частинами колінчастого валу пропонується варіант з використанням електромагнітної муфти (рис. 11).



Рисунок 11. Електромагнітна муфта

Електромагнітні муфти набули досить широкого поширення. Це можна пов'язати з тим, що вони мають досить велику кількість переваг, які повинні враховуватися. Найбільш важливими вважаються:

- надійність;
- збереження своїх властивостей упродовж тривалого періоду;
- швидке спрацювання;
- компактність і мала вага.

Встановлення двох ДВЗ.

Одним з технічних рішень альтернативи методу вимкнення частини циліндрів, при зниженні зовнішнього навантаження на автомобіль, є використання силової установки із двома паралельно або послідовно встановленими ДВЗ (рис. 12) [16].

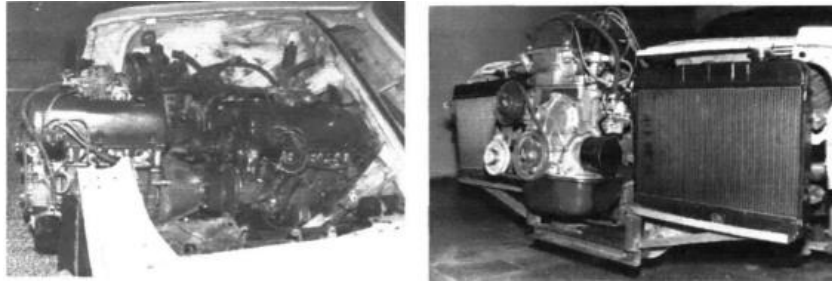


Рисунок 12. Автомобіль "Волга", обладнаний модульною СУ на базі двигунів ВАЗ-2101

Встановлення послідовно двох двигунів внутрішнього згоряння надає змогу, за рахунок зниження нерівномірності крутного моменту на вхідному валу трансмісії, зменшити витрату палива. За рахунок раціональної синхронізації робочих циклів встановлених двох ДВЗ маємо можливість підвищення енергоефективності автомобілів але для цього необхідно визначити раціональний кут взаємного розташування колінчастих валів обох ДВЗ [16].

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Технологія відключення циліндрів стала універсальним інструментом економії палива у сучасному автомобілебудуванні. Якщо раніше вона застосовувалася лише у великих V8, то сьогодні її інтегрують навіть у чотирициліндрові двигуни [8, 9]. Це свідчить про прагнення виробників досягти балансу між потужністю та екологічністю. Відключення частини циліндрів двигуна внутрішнього згоряння може реалізовуватися двома принципово різними способами (табл. 1), які мають свої технічні особливості, переваги та недоліки [11].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика способів ВЧЦ

Критерій	Зупинка КШМ	Відключення живлення
Складність конструкції	Висока	Низька/середня
Втрати на тертя	Мінімальні	Зберігаються
Втрати на газообмін	Відсутні	Частково залишаються
Надійність	Залежить від механічних муфт	Висока при сучасних ECU
Вібрації	Можливі через дисбаланс	Можливі через холості ходи
Практичність	Обмежене застосування	Широке застосування у сучасних ДВЗ

Обговорюючи ці два підходи, варто зазначити, що вони відображають різні етапи розвитку двигунобудування. Механічне відключення КШМ було характерним для ранніх експериментів, коли інженери прагнули максимально знизити втрати на тертя та газообмін [5-6]. Проте складність конструкції та ризики для надійності зробили цей метод малопоширеним у серійних автомобілях. Він залишився радше у сфері спеціалізованих або експериментальних рішень. Натомість електронне відключення системи живлення стало практичним компромісом між ефективністю та простотою. Сучасні системи керування двигуном (ECU) дозволяють швидко й точно регулювати подачу палива та повітря, що робить цей метод універсальним і придатним для масового використання. Саме завдяки цьому сьогодні ми бачимо технології ВЧЦ у багатьох легкових автомобілях (табл. 2), де вони допомагають знизити витрати пального та викиди CO₂ без значних змін у конструкції двигуна [14-15].

Таблиця 2. Порівняльна характеристика систем ВЧЦ різних виробників

Виробник	Система / Назва	Тип двигуна	Ефект
Chrysler/Dodge/Jeep	MDS (з 2004 р.)	V8	Економія палива на середніх швидкостях
GM (Cadillac, Chevrolet Tahoe)	AFM / V8 деактивація	V8	Відключення половини циліндрів
Volkswagen	TSI з відключенням	R4	Перше масове застосування у 4-циліндрових
Audi	COD	R4, V6, V8	Відключення половини циліндрів на малих навантаженнях

Виробник	Система / Назва	Тип двигуна	Ефект
Mazda	SkyActiv-G 2.5	R4	Сучасні кросовери, економія палива
BMW	323 (тестовий)	R6	Економія до 26%
Porsche	V8	V8	Економія до 35%

Важливо також враховувати експлуатаційні аспекти. Водії зазвичай не відчують моменту відключення циліндрів, якщо система реалізована через живлення, адже перехід відбувається плавно. У випадку механічної зупинки КШМ балансування двигуна може змінюватися, що призводить до відчутних вібрацій і зниження комфорту [1]. Тому практичність і комфорт стали вирішальними факторами на користь електронного керування.

Найбільший ефект досягається на малих і середніх навантаженнях, коли двигун не потребує повної потужності. У реальних умовах економія може становити від 10% до 30% (табл. 3), що є значним внеском у зниження витрат палива та викидів CO₂.

Таблиця 3. Характеристика експлуатаційних аспектів застосування систем ВЧЦ

Аспект	Зупинка КШМ	Відключення живлення
Комфорт водія	Може знижуватися через вібрації	Перехід майже непомітний
Вартість реалізації	Висока	Помірна
Масове застосування	Рідкісне	Широке
Економія палива	Теоретично максимальна	Практично значна (10–30%)
Екологічний ефект	Високий	Високий

Загалом, дискусія навколо цих методів показує, що технічна досконалість не завжди означає промислову доцільність. Механічне відключення може бути більш ефективним у теорії, але електронне відключення живлення виявилось оптимальним рішенням для масового виробництва, де важливі баланс між ефективністю, надійністю та економічністю.

ВИСНОВКИ

Спосіб відключення циліндрів пропонується застосовувати до сучасних ДВЗ, будь-то з іскровим запалюванням чи дизельних, з механічним приводом або електромеханічним приводом подачі палива. Одним із методів, яким можна реалізувати на двигунах відключення циліндрів, без значних конструктивних змін, є застосування методу модульного відключення циліндрів.

Таким чином, не дивлячись на тривалий період досліджень і велику кількість наукових публікацій по проблемі відключення циліндрів у ДВЗ, на сьогоднішній день залишається ряд питань, які потребують більш глибокого вивчення. Насамперед, це питання реалізувати синхронне припинення процесів газообміну, визначення максимальної кількості циліндрів одночасно відключаємих а також вивчення впливу методів ВЧЦ на зміну показників стабільної роботи і ресурсу ДВЗ, його вібрації, що, як відомо, є одним з недоліків цих методів та інші важливі для практики питання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бешун О.А. Історія розвитку, проблеми та перспективи застосування методу відключення циліндрів і циклів у ДВЗ. Сучасні тенденції та перспективи розвитку збалансованого природокористування в агропромисловому виробництві : зб. матер. Міжнар. наук.-практ. конф. (26-27 березня 2015 року, м. Ніжин) / За наук. ред. В. С. Лукача [та ін.]. — Ніжин, 2015.— С. 9-16.
2. Міщенко Н. І. Автомобільні двигуни з відключенням циліндрів. Конструкції, аналіз / Н. І. Міщенко [та інші] // Вісник СевНТУ Серія : Машиноприладобудування та транспорт. – Вип. 122. – Севастополь, 2011. – С. 163-166.
3. Бешун О. А. Вплив регулювання потужності дизеля відключенням окремих робочих циклів на його економічні, екологічні та динамічні показники : Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / О.А. Бешун. – К., 2006. – 282 с.
4. Peters G. Cylinder deactivation on 4-cylinder engines. A torsional vibration analysis : DCT 2007-11 [Електронний ресурс] / G. Peters; Eindhoven University of Technology. - February 15, 2007. – VII; 75 p. – Режим доступу: <http://www.mate.tue.nl/mate/pdfs/7849.pdf>.
5. Мошенцев Ю.Л. Моделирование рабочего цикла дизельного двигателя с системой периодического отключения работы цилиндров [Електронний ресурс] / Ю.Л. Мошенцев // Електронне

видання «Вісник НУК», 2012. – №3-4. – С. 77-83.

6. Теоретичні розрахунки відносно додаткової витрати палива при відключенні циліндрів / А.А. Молодан, А.С. Полянський // Інженерія природокористування. – Х.: ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2018. – №2 (10). – С. 14-18.

7. ACT Cylinder Deactivation System. Self-Study Program 510. – Wolfsburg: Volkswagen AG, 2012. – 56 pp.

8. Chrysler 5.7L 345 HEMI Engine Specs, Problems, Reliability, Info. URL: https://www.motorreviewer.com/engine.php?engine_id=182.

9. 5.3L - LM4, LM7, L33, L59. URL: <https://bdtturnkeyengines.com/53l-lm4-lm7-l33-l59>

10. Коефіцієнт корисної дії і показники питоме споживання енергії при русі автомобіля / Д. В. Абрамов, Н.М. Подригало, М. А. Подригало // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»). – 2017. – Вип. 57. – С. 8–16.

11. Колеснікова Т.М., Заренбін В.Г. Аналіз двигунів з модульним відключенням циліндрів. Двигуни внутрішнього згоряння : всеукр. наук.-техн. журн.- Харків. 2016. С. 40-44.

12. Ричок С. О. Поліпшення показників двигуна з іскровим запалюванням удосконаленням комбінованого методу регулювання потужності: автореферат дис. на отримання наукового ступеня доктора філософії: спец. 142 Енергетичне машинобудування / – Київ, 2023. 210 с.

13. Marshall Brain. How HEMI Engines Work. URL: <https://auto.howstuffworks.com/naias2001.htm>.

14. Файст В. Л. Удосконалення вимог до динамічних властивостей легкових автомобілів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20 “Експлуатація та ремонт засобів транспорту” / В.Л. Файст. – Харків, 2012. – 20 с.

15. Молодан А.О. Наукові основи забезпечення надійності і функціональної стабільності колісних машин в режимі відключення частини циліндрів: автореферат дис. на отримання наукового ступеня доктора технічних наук: спец. 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. / А.О. Молодан. - Харків, 2021. 40 с.

16. Подригало М.А., Вахнюк С.А. Послідовне встановлення двох двигунів внутрішнього згоряння на автомобілі як метод зниження нерівномірності крутного моменту. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2024. – № 1(19). 2024. С. 103-108.

REFERENCES

1. Beshun, O.A. History of Development, Challenges, and Prospects for the Application of Cylinder and Cycle Deactivation Methods in Internal Combustion Engines. Current Trends and Prospects for the Development of Balanced Environmental Management in Agro-Industrial Production: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (March 26–27, 2015, Nizhyn) / Edited by V. S. Lukach [et al.]. – Nizhyn, 2015. – pp. 9–16.

2. Mishchenko, N. I. Automotive engines with cylinder deactivation. Designs, analysis / N. I. Mishchenko [et al.] // Bulletin of SevNTU Series: Machine and Instrument Engineering and Transport. – No. 122. – Sevastopol, 2011. – pp. 163–166.

3. Beshun O. A. The effect of regulating diesel engine power by deactivating individual power strokes on its economic, environmental, and dynamic performance: Diss. ... Cand. Tech. Sci.: 05.05.03 / O. A. Beshun. – Kyiv, 2006. – 282 p.

4. Peters G. Cylinder deactivation on 4-cylinder engines. A torsional vibration analysis : DCT 2007-11 [Electronic resource] / G. Peters; Eindhoven University of Technology. - February 15, 2007. – VII; 75 p. – Access mode: <http://www.mate.tue.nl/mate/pdfs/7849.pdf> .

5. Moshentsev, Yu. L. Modeling the operating cycle of a diesel engine with a cylinder deactivation system [Electronic resource] / Yu. L. Moshentsev // Electronic publication “Bulletin of NUK,” 2012. – No. 3–4. – Pp. 77–83.

6. Theoretical calculations regarding additional fuel consumption during cylinder deactivation / A.A. Molodan, A.S. Polyansky // Environmental Engineering. – Kharkiv: Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, 2018. – No. 2 (10). – pp. 14–18.

7. ACT Cylinder Deactivation System. Self-Study Program 510. – Wolfsburg: Volkswagen AG, 2012. – 56 pp.

8. Chrysler 5.7L 345 HEMI Engine Specs, Problems, Reliability, Info. URL: https://www.motorreviewer.com/engine.php?engine_id=182.

9. 5.3L - LM4, LM7, L33, L59. URL: <https://bdtturnkeyengines.com/53l-lm4-lm7-l33-l59>

10. Efficiency and Specific Energy Consumption During Vehicle Operation / D. V. Abramov, N. M. Podrygalo, M. A. Podrygalo // Scientific Notes. Interuniversity Collection (in the field of “Technical Sciences”). – 2017. – Issue 57. – Pp. 8–16.

11. Kolesnikova T.M., Zarenbin V.G. Analysis of engines with modular cylinder deactivation. Internal

Combustion Engines: All-Ukrainian Scientific and Technical Journal. – Kharkiv, 2016. pp. 40–44.

12. Rychok S.O. Improvement of Spark-Ignition Engine Performance by Refining the Combined Power Control Method: Abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Philosophy: Specialty 142 Power Engineering / – Kyiv, 2023. 210 pp.

13. Marshall Brain. How HEMI Engines Work. URL: <https://auto.howstuffworks.com/naias2001.htm>.

14. Faist V. L. Improvement of Requirements for the Dynamic Properties of Passenger Cars: Abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences: Specialty 05.22.20 “Operation and Repair of Transport Vehicles” / V. L. Faist. – Kharkiv, 2012. – 20 p.

15. Molodan A.O. Scientific foundations for ensuring the reliability and functional stability of wheeled vehicles in cylinder deactivation mode: abstract of dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences: specialty 05.22.20 Operation and repair of transport vehicles. / A.O. Molodan. - Kharkiv, 2021. 40 p.

16. Podrygalo M.A., Vakhnyuk S.A. Sequential installation of two internal combustion engines on a vehicle as a method for reducing torque unevenness. Bulletin of Mechanical Engineering and Transport. Vinnytsia: VNTU, 2024. – No. 1(19). 2024. pp. 103–108.

S. Vakhniuk. Analysis of existing studies on the deactivation of some cylinders in internal combustion engines when vehicle loads decrease

Based on the literature, this article analyzes methods for improving the economic and environmental performance of vehicles by implementing cylinder deactivation in internal combustion engines, while ensuring the reliability and operational stability of wheeled vehicles. The article identifies challenges in this area as well as prospects for further research.

Internal combustion engines used in automotive transport operate under constantly changing load conditions. Most of the time is spent in low-load and idle modes. In these modes, the engine’s rated power is utilized only partially.

One alternative method for improving the efficiency of multi-cylinder engines during idle and partial-load operation is to regulate the load by changing the engine’s displacement through the deactivation of some of the operating cylinders.

This paper examines various methods for implementing engine cylinder deactivation, which are divided into two main groups: stopping the crankshaft-connecting rod mechanism (CCM) (modular internal combustion engine) and deactivating the fuel supply system.

The study results showed that deactivating some of the cylinders through smooth or stepwise displacement control or modular cylinder deactivation, according to estimates by researchers in this field, leads to a significant improvement in fuel economy at idle and low loads, due to the stopping of pistons, by at least 30%, and an increase in the service life between overhauls by 27%.

Despite the large number of studies and scientific publications on the issue of cylinder deactivation in internal combustion engines, a number of questions remain that require further investigation.

Key words: internal combustion engine, power, idle mode, load, cylinder deactivation, fuel cut-off, fuel economy, displacement.

ВАХНЮК Сергій Анатолійович, аспірант, кафедра технології машинобудування та ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків; ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3584-7730>; e-mail: vakhniuk.ser@gmail.com.

Serhii VAKHNIUK, graduate student, Department of Mechanical Engineering Technology and Machine Repair, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv; ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3584-7730>; e-mail: vakhniuk.ser@gmail.com.

Дата надходження статті до видання: 28.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.04.2026

<https://doi.org/10.36910/1r7yfk95>