

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН СПРАЦЮВАННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**

***К. Л. Шевченко, доктор технічних наук  
Національний технічний університет України "Київський  
політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського"***

***С. І. Бондарєв, кандидат технічних наук  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України  
e-mail: bondarevgall@meta.ua***

**Анотація.** У роботі представлений спосіб застосування резонансного методу з метою діагностики циліндрів автомобільних і тракторних двигунів внутрішнього згорання. Актуальність даного аспекту питань викликано тим, що основною проблемою технічної діагностики деталей і вузлів двигунів є значна складність збору статистичних даних щодо впливу дефектів на різні параметри роботи. Перспектива застосування резонансного методу для дослідження стану робочої поверхні циліндрів надає полягає у визначенні величини спрацювання, обґрунтуванні причин дефектів і несправностей циліндрів, системи клапанного механізму автомобільних і тракторних двигунів внутрішнього згорання без необхідності проводити розбирання, оцінці надійності і робочого стану, а також зробити прогнозування ресурсу до капітального ремонту і ефективність подальшого використання у робочих умовах чи негайного ремонту циліндрів двигунів. Завдяки стрімкому розвитку комп'ютерної техніки та систем штучного інтелекту процес діагностування ступеня спрацювання циліндрів двигунів внутрішнього згорання можна виконувати з високою точністю в стислі терміни.

**Ключові слова:** ремонт двигунів внутрішнього згорання, зношення циліндрів, діагностика внутрішньої поверхні циліндрів, технічне обслуговування

Постановка проблеми. Сучасний автомобіль є складною машиною, яку виготовлено з різних матеріалів з високою точністю обробки її складових. Початкові властивості, якість та відносні параметри в процесі експлуатації змінюються. Якість автомобілів визначаються його різними параметрами серед яких є один

із основних – пристосованість до технічного обслуговування і ремонту, а цьому передуює висока точність діагностики вузлів та агрегатів. На даний час кількість автомобілів у світі постійно збільшується, а організацій з обслуговування останніх не вистачає внаслідок браку якісного діагностування неполадок автомобілів. Для вирішення існуючої проблеми є збільшення кількості необслуговуваних транспортних засобів, що за даних умов не можливо забезпечити та перехід на ремонт автомобілів і його обладнання за фактичний станом. Але це можливо у тому випадку, якщо застосовувати методи і засоби поглибленої діагностики та довгострокового прогнозу стану обладнання у процесі його експлуатації.

Тому актуальним питання є своєчасне визначення стану працездатності вузлів і агрегатів автомобілів за допомогою ефективного проведення діагностики без попередньої розборки останніх. Статистичні дані щодо несправності рухомого складу автомобілів свідчать, що, внаслідок несвоєчасної і неякісної діагностики двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) загальноприйнятими методами, витрати на капітальний ремонт можуть сягати вартості ремонту всіх інших вузлів і агрегатів разом узяті. І тому, автовиробники зацікавлені у нових технологічних розробках щодо ґрунтовної концепції ефективною попередньої діагностики ДВЗ і важливих вузлів автомобілів через те, що сучасний ринок транспортної галузі висуває високі вимоги до всіх складових систем і механізмів рухомого складу автомобільного транспорту.

Належний технічний стан автомобільного транспорту згідно нормативним показникам є основним аспектом досягнення безпеки дорожнього руху і екологічної безпеки автотранспорту. Як відомо, надмірне спрацювання циліндропоршневої групи ДВС призводить до неповного згоряння пального і, як наслідок, шкідливі речовини попадають у навколишнє середовище забруднюючи його такими небезпечними речовинами як вуглеводень, оксид вуглецю, оксид азоту та ін.

Спрацювання циліндропоршневої групи двигунів разом з підвищенням кількості викидів у навколишнє середовище шкідливих речовин призводить до надмірної витрати палива і мастильних матеріалів. Отже, існує необхідність щодо оперативного проведення операцій з точної діагностики з метою підтримання у працездатному стані усіх вузлів і механізмів автотранспортних засобів, зокрема, двигунів внутрішнього згоряння автомобілів.

**Аналіз останніх досліджень.** На даний час майже відсутні прилади та обладнання, які забезпечують отримання достовірних даних про стан циліндропоршневої групи на зібраному двигуні та

присутність залишків згоряння на її робочих поверхнях.

Відомий метод вимірювання рівня компресії у камерах згоряння циліндрів надає недостатньо вірні дані про спрацювання робочих поверхонь циліндропоршневої групи внаслідок того, що зменшення ступеня компресії може залежати від геометричної форми системи клапанного управління, а підвищення – проникнення мастила через напрямні клапанні втулки [1]. Пневматичне обладнання, описане у роботі [2], яке забезпечує отримання даних нерівномірності спрацювання дзеркала циліндрів в напрямку руху поршня та стану системи клапанного управління, за рахунок зміни тиску (попередньо створеному в камері згоряння) при нешвидкому рівномірному опусканні поршня в циліндрі з верхньої до нижньої мертвої точки, має свої недоліки, а саме це проявляється в тому, що при отриманні даних зміни тиску не враховується стан компресійних кілець окремо. І тому, отримані результати вимірювання є опосередковані і наближені.

Найбільш оптимальним і точним з нашої точки зору може бути використання резонансних методів [3]. Від надає можливість оцінювати не лише величину спрацювання дзеркала циліндру в різних місцях розташування поршня, але і робочий стан поверхні дзеркала циліндру і дно поршня.

**Результати досліджень.** За допомогою резонансного методу оцінюють величину електромагнітних коливань, що контактують з дослідною поверхнею. Даний метод побудований на основі технології обрахування довжин електромагнітних хвиль у відповідних одиницях діапазонів, а саме у міліметрах, сантиметрах і дециметрах. В науці такі коливання електромагнітних хвиль називають діапазоном надзвичайно високих частот. Основні різновиди контактування електромагнітних хвиль з об'єктом дослідження поділяються наступним чином: резонансне підсилення інтенсивності збудження електромагнітних хвиль в керованому дослідному середовищі і проникнення або реверберація електромагнітних хвиль відносно об'єкту випробування.

Переважно на показники електромагнітних хвиль основний вплив мають величина та форма дослідного об'єкту, сфера проникності і виснаження у магнітному чи діелектричному полях. Отже, за початкові дані прийнято застосовувати ступінь перетворення резонансних амплітуд і частот, фаз і поляризації електромагнітних хвиль та інших взаємодіючих показників.

Задаймося, що порожнина камери згоряння це об'ємний резонатор циліндричної форми, тобто короткий хвилевод, закритий з обох боків металевими стінками. Уздовж нього хвилі розповсюджуються не можуть, отже, режим стоячих хвиль вийде не

тільки у поперечному перерізі, але й в поздовжньому напрямку. Резонанс буде спостерігатися на тих частотах, для яких уздовж хвилеводу укладається ціле число півхвиль. З метою створення хвиль в резонаторі можемо застосувати ємнісний та індуктивний зв'язки. За умови застосування ємнісного зв'язку використовують плунжер з можливістю його налаштування, який являється провідником коаксіальної лінії. Його розміщують вздовж напрямку ліній електричного поля в межах максимальної напруженості.

У випадку використання індуктивного зв'язку, в точці з'єднувача і резонатора додають петлю таким чином, щоб напрям ліній магнітного поля перетинали поздовжню площину петлі перпендикулярно. Петлю доцільно розміщувати в точці найбільшого напруження ліній магнітного поля.

У випадку використання резонансного методу з описаними вище зв'язками двигун розбирати не потрібно, а лише демонтувати свічку чи форсунку і плунжер збудження помістити через звільнений отвір.

Об'ємні резонатори циліндричної форми мають два основні потужні типи електромагнітних коливань Н, Е, але варто зазначити, що разом з цими коливаннями утворюються одночасно й інші, які мають різну довжину хвиль. Отже, при застосуванні вказаного методу, вимірювальній пристрій необхідно конструювати таким чином, щоб досягти мінімізації утворення додаткових хвиль «паразитів». Це можна досягти за рахунок відповідного способу збудження резонатору, його розмірами тощо [4].

Для підвищення точності вимірювання частоти об'ємним резонатором використовують поправочними графіками, які дозволяють врахувати вплив температури і вологості на вимірювання частоти.

Тому, визначення величини резонансної частоти переважно виконують методами з високою вірогідністю отриманих даних. Але отримання результатів вимірювання частоти резонансної у ширшому діапазоні є більш складною задачею. Для визначення зміни величини частоти застосовують вимірювання у доступних структурах електромагнітного поля [5].

Якщо в ідеальному випадку в циліндричному об'ємному резонаторі діаметром  $D$  і довжиною  $l$  уздовж довжини  $l$  укладається  $p$  на півхвиль, то резонансна довжина хвилі

$$\lambda_{рез} = \frac{0,5\pi(D+d)}{\sqrt{\left(\frac{p(0,5\pi(D+d))}{2l}\right)^2 + 1}}, \quad (1)$$

де:  $\lambda_{кр}$  – довжина хвилі критична;  $d$  – внутрішній діаметр резонатора.

Співвідношення резонансної довжини хвилі та частоти

аналітично представимо як:

$$f_{рез} = \frac{c}{\lambda_{рез}}, \quad (2)$$

де:  $c$  – швидкість електромагнітних хвиль в усіх інерційних системах виміру, яка дорівнює  $3 \cdot 10^{10}$  см/с.

Однак, камера згоряння ДВЗ не являється теоретично обґрунтованим циліндричним коаксіальним резонатором. І величина резонансної частоти останньої залежить від ряду взаємопов'язаних показників (розміри камер згоряння, її конфігурація і форма, стан і властивості поверхневого шару камери, кількість залишків від спаленого пального на внутрішній поверхні камери згоряння тощо).

Для застосування розглянутого резонансного методу на досліджуваному об'єкті основою вимірювання є величина відхилення від початкового контрольного базового розміру циліндрів.

Розглянемо наступні варіанти стану поверхні циліндрів.

Поверхня камери згоряння не спрацьована, але має нагар на всіх її елементах. Отже, зміну резонансної частоти ( $f$ ) можна представити як відношення показників відносної діелектричної ( $\epsilon$ ) і магнітної ( $\mu$ ) проникності, що заповнює хвильовий матеріал – отриманого зі зміненими параметрами ( $\epsilon_i, \mu_i$ ), тобто з нагаром в камері згоряння до показника з початковими даними, тобто без нагару ( $\epsilon_0, \mu_0$ ). В даному варіанті відношення об'ємів дослідних середовищ виглядатиме як нерівність  $V_i < V_0$ .

Отже, у прийнятих умовах  $\mu_i = 0$  внаслідок того, що нагар, як діелектричне середовище, має надто маленьку товщину і не створює значного викривлення резонансних хвиль, зміну частоту обрахуємо таким чином.

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \left[ (\epsilon_0 - 1) \frac{\int |\dot{E}_0|^2 dV}{\int_{V_0} |\dot{E}_0|^2 dV} + 1 \right]^{-0,5} \quad (3)$$

де:  $f_0$  – власна частота, що відповідає цьому полю;  $f$  – власна частота, що відповідає цьому полю;  $\Delta f = f_0 - f$ ;  $\dot{E}$  - вектор електричної напруженості в резонаторі, який заповнений діелектричним середовищем (нагаром) з показниками  $\epsilon_i$ .

Другий варіант розглядається за умови, коли у камері згоряння нагару немає, а стінки циліндру мають деяке спрацювання. Резонатор також має деформацію поверхні даної провідної порожнини, яка відповідає певним змінам внутрішнього об'єму дослідного резонатору за умови  $VV$ . Цей випадок відповідає тому, що резонатор довільної форми об'ємом  $V_0$ , обмежений ідеальною провідною поверхнею  $S_0$  і заповнений середовищем з параметрами

$\varepsilon_0, \mu_0$  має деформацію ідеально провідної поверхні порожнини, що приводить до зміни об'єму резонатора на величину  $V_i < V_0$ .

Таким чином, зміна частоти описуватиметься рівнянням:

$$\frac{\Delta f}{f} = \pm \frac{\int_{V_i} \mu_0 |\dot{H}_0|^2 dv - \int_{V_i} \varepsilon_0 |\dot{E}_0|^2 dv}{\int_{V_0} (\varepsilon_0 |\dot{E}_0|^2 + \mu_0 |\dot{H}_0|^2) dv} \quad (4)$$

де:  $\dot{H}_0$  – вектор напруженості магнітної у дослідному резонаторі, який заповнений діелектричним середовищем з показниками  $\varepsilon_i, \mu_i$ .

**Висновок.** Викладений матеріал засвідчує, що представлений резонансний метод діагностування стану робочої поверхні циліндропоршневої групи ДВС можна застосовувати у виробничих умовах. Даний підхід забезпечує можливість визначення параметрів і робочого стану для циліндрів ДВС та допустимих відхилень від початкових їх розмірів та провести дефектацію для прийняття рішень щодо подальшого обслуговування чи ремонту циліндрів.

### Список літератури

1. Шахнеса М. М. Оборудование для ремонта автомобилей: справочник. Москва. Транспорт. 1978. 422 с.
2. Власов В. М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. Москва. Академия. 2003. 480 с.
3. Формальчик Е. Ю., Оліскевич М. С., Мاستикаш О. Л., Пельо Р. А. Технічна експлуатація та надійність автомобілів. Львів. Афіша. 2004. 492 с.
4. Ключева В. В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник. Москва. Машиностроение. 1986. 352 с.
5. Головка Д. Б., Клименко А. П., Ментковський Ю. Л. Принципові основи квантової механіки і статистики (для інженерних спеціальностей). Київ. КДУТД. 2000. 188 с.
6. Бондарев С. І., Шевченко К. Л. Шляхи підвищення надійності електрообладнання автотранспортних засобів. Технологический аудит и резервы производства. 2013. № 2/2(10). С. 5–7.
7. Скрипник Ю. А., Шевченко К. Л. Способ индикации резонансной частоты измерительной цепи. Авторское свидетельство СССР. № 1506372. Бюл. №32. 07.09.89.

### References

1. Sahnesi, M. M. (1978). Equipment for car repair Handbook. Moscow. Transport. 422.
2. Vlasov, V. M. (2003). Technical service and repair cars. Moscow. Academy. 480.
3. Fornalczyk, Ye. Yu, Olishkevych, M. S., Mastykarz, A. L., Pello, P. A. (2004). Technical operation and reliability of the cars. Lions. Billboard. 492.
4. Klyuev, V. V. (1986). Devices for nondestructive testing of materials and products: handbook. Moscow. Engineering. 352.
5. Golovko, D. B., Klimenko, A. P., Mentkovsky, Y. L. (2000). Fundamental principles of quantum mechanics and statistics (for engineering majors). Kiev. KHALD. 188.

6. Bondarev, S. I., Shevchenko, K. L. (2013). Ways of increase of reliability of electrical equipment of motor vehicles. Technology audit and production reserves. No 2/2(10). 5–7.

7. Skrypnyk, Y. O., Shevchenko, K. L. (1989). Method of indication of the resonant frequency measuring circuit. Copyright svidetelstvo of the USSR. No 1506372. Bull. No 32. 07.09.89.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

**К. Л. Шевченко, С. И. Бондарев**

**Аннотация.** В работе представлен способ применения резонансного метода для диагностики цилиндров автомобильных и тракторных двигателей внутреннего сгорания. Актуальность данного аспекта вопросов вызвано тем, что основной проблемой технической диагностики деталей и узлов двигателей является значительная сложность сбора статистических данных о влиянии дефектов на разные показатели работы. Перспектива применения резонансного метода для исследования состояния рабочей поверхности цилиндров заключается в определении величины износа, обосновании причин дефектов и неисправностей цилиндров, системы клапанного механизма автомобильных и тракторных двигателей внутреннего сгорания без необходимости производить разборку, оценке надежности, рабочего состояния, сделать прогноз ресурса до капитального ремонта и эффективность дальнейшего использования в рабочих условиях или немедленного ремонта цилиндров двигателей. Благодаря стремительному развитию компьютерной техники и систем искусственного интеллекта процесс диагностирования степени износа цилиндров двигателей внутреннего сгорания можно выполнять с высокой точностью в сжатые сроки.

**Ключевые слова:** ремонт двигателей внутреннего сгорания, износ цилиндров, диагностика внутренней поверхности цилиндров, техническое обслуживание

## **DETERMINE THE AMOUNT OF WEAR OF WORKING SURFACE OF CYLINDERS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

**K. L. Shevchenko, S. I. Bondarev**

**Abstract.** The paper presents a method of applying a resonant method for diagnostics of automobile and tractor cylinders of internal combustion engines. The urgency of this aspect of the issues is due to the fact that the main problem of technical diagnostics of parts and units engine is the considerable collecting statistics complexity of on the defects effect on different performance indicators.

The perspective of a resonant method application for a research of a condition, a working surface, cylinders consists in determination of

wear size, substantiation of the probable cause of defects and malfunctions of cylinders, the systems of a valve gear of automobile and tractor internal combustion engines exclude to make dismantling, assessment of operating condition reliability, to make the forecast of a resource before a major repair and efficiency of further use in operating conditions or immediate repair of cylinders of engines.

As a result of the computer equipment and the artificial intelligence systems of diagnostics process development of cylinders wear rate of internal combustion engines can be make out with a high accuracy quickly.

**Key words:** *repair of internal combustion engines, wear of cylinders, diagnostics of inner surface of cylinders, technical maintenance*

УДК 624.954

## **АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕВИХ ЄМНІСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ СИПУЧИХ ВАНТАЖІВ**

***І. М. Сівак, Ю. В. Човнюк, кандидати технічних наук  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України  
e-mail: sivakim@ukr.net***

**Анотація.** *Проведений чисельний та аналітичний аналізи динамічних властивостей сталевих ємнісних конструкцій для сипучих вантажів, встановлення спектру частот власних коливань циліндричних оболонок методами, розвиненими й в уточненій постановці, а також проведення чисельних оцінок власних частот подібних структур при врахуванні впливів різноманітних факторів з становленням динамічних властивостей сталевих/ металевих ємнісних конструкцій для сипучих вантажів, які знаходяться під впливом вібраційних полів.*

**Ключові слова:** *динаміка, вантаж, конструкція, сипучий*

**Постановка проблеми.** Сталеві ємнісні конструкції експлуатуються досить широко у різних галузях промисловості та сучасного сільського господарства. Вони використовуються але тимчасового та довготривалого зберігання великої кількості різних видів сипучих вантажів ( зерно, горох, кукурудза, тощо). Найбільш

© І. М. Сівак, Ю. В. Човнюк, 2017